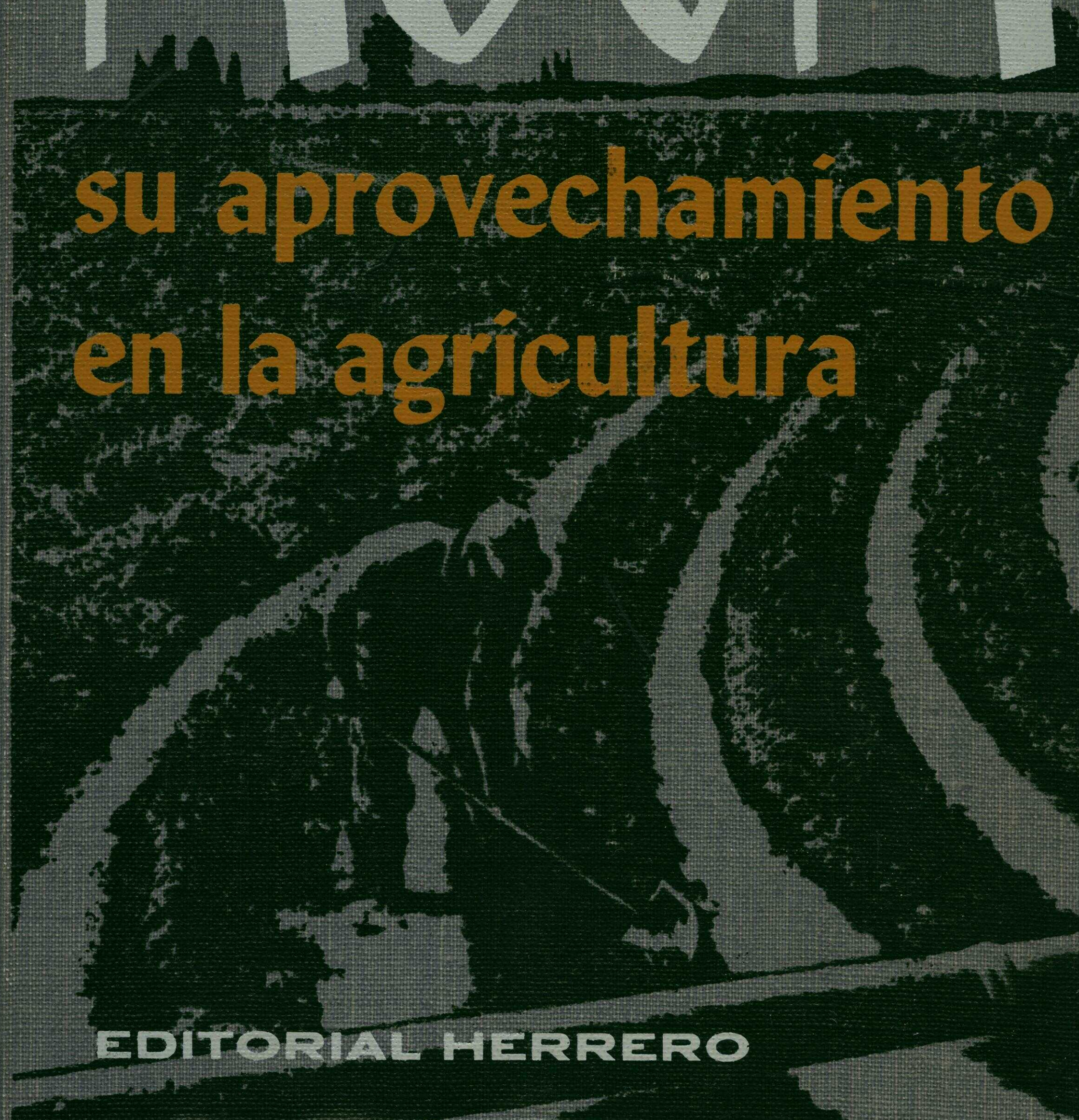
AGUA

su aprovechamiento
en la agricultura



EDITORIAL HERRERO

AGUA su aprovechamiento en la agricultura


UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE
1862
1889
AGRICULTURE IS THE
AND COMMERCE
FOUNDATION OF MANUFACTURE

AGUA

SU APROVECHAMIENTO
EN LA AGRICULTURA

THE YEAR BOOK OF AGRICULTURE

AGUA

SU APROVECHAMIENTO

EN LA AGRICULTURA



EDITORIAL HERRERO, S. A. - MEXICO, D. F.

TÍTULO DEL ORIGINAL EN INGLÉS:

WATER

TRADUCIDO AL ESPAÑOL POR J. MEZA NIETO

EDITORIAL HERRERO, S. A., AMAZONAS Nº 44, MÉXICO 5, D. F. · PRIMERA EDICIÓN EN ESPAÑOL, 13 DE JULIO DE 1965, 2 000 EJEMPLARES · IMPRESO EN UNIÓN GRÁFICA, S. A., DIVISIÓN DEL NORTE, 1521, MÉXICO 13, D. F.

Introducción

No tengo necesidad de recordar que el agua se ha convertido en una de nuestras principales preocupaciones nacionales.

Casi todos los habitantes de este país han tenido durante los últimos años algún problema causado por la abundancia de agua cuando no la deseamos o por su escasez cuando la necesitamos.

Los agricultores han tenido que acarrear en camiones el agua para su ganado desde las ciudades. Algunas ciudades han tenido que acarrear agua de los estanques de las granjas. Durante cierto tiempo se exigió de los habitantes de New York que redujeran el número de baños, ya que escaseaba el agua en los depósitos que abastecen a aquella metrópoli. Los dueños de casas y muchos lugares tuvieron que dejar de regar sus prados a fin de conservar las existencias municipales de agua. Se ha advertido a algunos consejos municipales que el crecimiento de sus ciudades quedaría limitado por la disponibilidad de agua. La abundancia de agua limpia se ha convertido en un factor para la localización de nuevas fábricas. La intrusión del agua salada en los pozos que se han usado en demasía está volviendo inadecuada para el consumo el agua de muchos depósitos subterráneos.

Los agricultores conocen demasiado bien las dificultades relacionadas con la espera de agua suficiente para sus riegos, la necesidad de riegos suplementarios, los riesgos de la contaminación y las deficiencias del agua necesaria para la casa, ganado, jardines y cosechas. Han conocido las preocupaciones de los pozos que se secan, de los arroyos que se agotan y de los erráticos suministros superficiales. Han sufrido la furia de las inundaciones y los daños de la erosión, y las pérdidas de vidas, propiedades, productividad y dinero han sido enormes.

Conocemos todos estos problemas y muchos otros semejantes a ellos. ¿Qué hemos hecho para remediarlos? ¿Qué más podemos hacer para solucionarlos?

Tenemos que saber de donde viene el agua y lo que le acontece. Tenemos que saber cuánta agua puede usarse y cuándo, y en qué forma nuestras prácticas terrestres influencia su comportamiento.

Tenemos que acabar con el desperdicio del agua. Tenemos que aprovecharla en forma más eficiente en la industria, en los pueblos y ciudades,

en la agricultura en general y en los riegos, en una forma que pueda adoptarse en todas las regiones de la nación.

Tenemos que saber más acerca de la represión de las inundaciones en sus orígenes, así como en los grandes ríos. Esto hará necesario un planeamiento municipal, regional y nacional; un planeamiento mucho más extenso para el futuro que el efectuado hasta la fecha.

Tenemos que volver la vista a los campos, los bosques y las colinas que forman nuestras vertientes hidráulicas, porque la forma en que las utilicemos afectará la abundancia y pureza del agua que necesitan los agricultores en cantidades cada vez mayores, así como los habitantes de nuestras ciudades.

Necesitamos explorar todas las posibilidades que actualmente nos ofrece la ciencia, la "siembra de nubes", la predicción de las existencias de agua, la conversión de aguas saladas, el tratamiento de aguas de desecho, la disminución de la erosión y de las inundaciones, la reducción de la evaporación, así como el incremento de nuestros conocimientos sobre la forma en que las plantas usan el agua y muchas cosas más.

Necesitamos una mayor comprensión entre los habitantes de este país acerca de la singularidad de nuestros recursos físicos. En igual forma que un gran número de vidas forman una sola vida nacional, nuestra agricultura tiene muchas partes de un solo todo. El agua, la tierra y el pueblo son componentes inseparables de una sola cosa, nuestro bienestar. La cuestión del agua puede considerarse desde varios aspectos: Conservación de la tierra, agronomía, bosques, riegos, fauna, recreo, negocios, industria, legislación, etc., pero nunca desde uno solo de ellos.

Hemos hecho alentadores progresos hacia la consecución de esos fines.

El Octogésimo Tercer Congreso promulgó la Ley de Protección de las Vertientes Hidráulicas y de Prevención de Inundaciones, que estableció un sistema legislativo permanente bajo el cual el Gobierno Federal puede cooperar con las organizaciones locales, incluyendo los Estados, en el planeamiento y ejecución de obras que contribuyan a la prevención de inundaciones, así como a las fases agrícolas de conservación, desarrollo, utilización y aprovechamiento del agua de las pequeñas vertientes hidráulicas.

El Congreso reformó también la Ley de Suministros de Agua a fin de que puedan hacerse préstamos a largo plazo en todos los Estados en relación con prácticas de conservación de aguas y tierras, riegos, desagües, establecimiento de mejores pastos y reforestación. Otra legislación promueve la adopción o mejoramiento de prácticas adecuadas de conservación de tierras de cosechas, pastos, praderas y bosques.

Se está atacando el problema en forma práctica y franca en otros lugares y por otras personas, por la industria, las comunidades suburbanas, las municipales, los investigadores de las agencias estatales y federales, las universidades y los agricultores.

Naturalmente, no debe considerarse el nuevo programa de protección

de las vertientes lacustres como un milagro salido de las arcas del Tesoro Federal. Si tiene éxito, se deberá a que el pueblo, trabajando por conducto de las organizaciones locales con la ayuda de los gobiernos estatales, esté resuelto a asumir y mantener la iniciativa principal y contribuir en gran parte al costo de la obra, solicitando del Gobierno Federal únicamente la ayuda adicional que esté fuera del alcance de sus capacidades técnicas y financieras. No podemos separar al pueblo y al programa en este importante trabajo.

EZRA TALF BENSON
Ex Secretario de Agricultura
de los EE. UU.

Prefacio

Hay mucho que tenemos que saber sobre el agua.

Vemos y sentimos la lluvia, la nieve, el rocío y la niebla. Usamos el agua para beber y para lavarnos y regamos con ella nuestros prados y campos. Hablamos del tiempo, nos quejamos de que es demasiado húmedo o muy seco, y citamos incorrectamente a Mark Twain en relación con el mismo. Muchos de nosotros estamos conscientes casi en todo tiempo de la importancia del agua en nuestras vidas, pero en realidad nuestros conocimientos sobre ella son muy escasos.

Conocemos el símbolo del agua, pero sabemos muy poco sobre sus propiedades, que pueden proporcionarnos comodidades o incomodidades, hacernos ricos o pobres, sentirnos seguros o inseguros. No podemos vivir sin el agua y podríamos vivir mejor si supiéramos más acerca de ella.

Uno de los fines de este ANUARIO es el de suministrar toda la información que podamos sobre el agua, en forma práctica y útil, para los agricultores y otras personas que la usan, pero no es esto todo.

Otro fin consiste en enfatizar que mientras más conocimientos se tienen, se necesita más sabiduría. Esta necesidad se menciona una y otra vez en este libro y se dedica a ella todo un capítulo del mismo. La apreciación de la ignorancia es el principio de la sabiduría. El enunciado de un problema es el primer paso hacia su solución, y constituye un deber el descubrir los hechos con un espíritu verdaderamente científico, imparcial y exento de egoísmo, deber que concierne tanto a los que han preparado este libro como a los que lo lean.

El comité que planeó el alcance de este libro estableció desde un principio este propósito como guía para los que escribieron sus capítulos:

"Nuestro fin primordial consiste en explicar la naturaleza, comportamiento y conservación del agua en la agricultura. Nos dirigimos a los agricultores y a todas aquellas personas interesadas en la vida rural. A medida que aumenta nuestra población, aumentan las demandas sobre nuestros recursos hidráulicos. Cada día tendrá mayor importancia el uso eficiente y la conservación del agua en las granjas, y tendrá que buscarse una solución a los conflictos sobre el uso de la misma. Se mencionan algunos de los

problemas generales; pero debemos hacer hincapié principalmente en los hechos y principios básicos que ayuden a los habitantes a tomar las decisiones más convenientes. Se mencionan la energía hidroeléctrica, la navegación, los usos industriales, la contaminación y otros aspectos, pero este libro se ocupará casi exclusivamente del agua en la agricultura."

Los miembros del comité del ANUARIO PARA EL AÑO DE 1955, son los siguientes:

Servicio de Investigación Agrícola: Carleton P. Barnes, Elco L. Greenshields y Homer J. Kelly.

Servicio Forestal: Bernard Frank, Warren T. Murphy y Dana Parkinson.

Servicio de Conservación de Tierras: Carl B. Brown, Charles E. Kellogg, George R. Phillips y Gladwin E. Young.

Oficina de Información: Alfred Stefferud.

Esperamos que este libro se lea todavía dentro de cinco, diez o veinticinco años. La información que contiene no es sólo para el presente. Todas las cosas cambian rápidamente y son de corta duración, incluyendo los vientos y las lluvias, y nuestras memorias lo son igualmente. Cuando llueve nos olvidamos de las regiones polvorientas, y en tiempo de sequía nos olvidamos de las inundaciones.

ALFRED STEFFERUD
Editor

CONTENIDO

NUESTRA NECESIDAD DEL AGUA

¿DE DÓNDE OBTENEMOS NUESTRA AGUA?

EL AGUA Y NUESTRA TIERRA

JARDINES, CÉSPEDES Y HUERTOS

EL DESAGÜE DE LOS CAMPOS

EL AGUA Y NUESTRA FAUNA

AGUA PURA PARA LAS GRANJAS Y CIUDADES

Nuestra necesidad del agua



La historia del agua como historia del hombre

Bernard Frank

PODRÍA ESCRIBIRSE la historia del desarrollo del hombre en términos de sus épicas preocupaciones con el agua.

A través de las edades los pueblos han escogido o se han visto obligados a habitar en regiones en donde el agua era insuficiente en cantidad, inferior en calidad o errática en su comportamiento. Sólo se abandonaban los centros de población cuando se agotaban las existencias de agua o cuando no podían utilizarse debido a la abundancia de sedimentos o a la contaminación, o cuando las inundaciones barrían con todo lo que encontraban; pero a menudo las causas se debían tanto a los actos o deficiencias del hombre como a los caprichos de la naturaleza, y, por lo tanto, los esfuerzos del hombre para encontrar una relación más adecuada con las aguas de la tierra han ayudado a moldear su carácter y su apreciación del mundo que lo rodea.

Los pueblos han preferido siempre enfrentarse a sus problemas con el agua que a abandonar sus lugares de habitación y de industria, y han aplicado a ello su imaginación creadora, utilizado sus aptitudes y desarrollado una energía heroica. Los antiguos pozos, acueductos y depósitos del Viejo Mundo, algunos de los cuales están todavía en servicio después de miles de años, atestiguan la capacidad del pensamiento constructivo y de los esfuerzos cooperativos que tuvieron parte en el progreso de la humanidad.

Hace cincuenta siglos la civilización Mohan-Jo-Daro, del Valle del Indo en la India, disfrutó de los beneficios de sistemas de aprovisionamiento de agua y de desagüe bien diseñados, y aun de albercas y baños públicos. Las excavaciones de las ruinas de aquel periodo han revelado una variedad sorprendente de obras hidráulicas, incluyendo tanques y canales de irrigación.

Los pueblos de Asiria, Babilonia, Egipto, Israel, Grecia, Roma y China, construyeron servicios semejantes mucho antes de la Era Cristiana. Egipto cuenta con la presa más antigua del mundo, una estructura de piedra de relleno construida hace 5,000 años para almacenar aguas para riego y bebida y probablemente también para controlar las inundaciones. Tenía una longitud de 355 pies y su altura era de 40 pies sobre el lecho del río; pero aparentemente estuvo mal diseñada, porque se destruyó poco tiempo después y no se construyó ninguna otra durante 3,000 años. El pozo de Jacob se excavó en la roca a una profundidad de 105 pies, y se dice que todavía está en uso. Aproximadamente 950 años antes de Jesucristo, Salomón dirigió la construcción de grandes acueductos para proveer a las necesidades del hombre, de las bestias y de los campos. Los industriosos labradores de la antigua Arabia utilizaron los cráteres de volcanes apagados como receptáculos para almacenar las

aguas superficiales para sus riegos y perforaron pozos para obtener agua para beber. El rey Hàmurabi, de Babilonia, supervisó la excavación de una extensa red de canales de riego y promulgó leyes para su reparación.

Entre los griegos primitivos, Hipócrates reconoció el peligro para la salud de las aguas contaminadas que se destinaban para beber, y recomendó que se filtrara e hirviera el agua. Los romanos utilizaban las aguas más malas para sus riegos y fuentes.

El sistema Tukiangyien, construido en China hace unos 2,200 años, es otro tributo al genio y al esfuerzo de los pueblos antiguos. Este proyecto de ingeniería, cuidadosamente diseñado y de fines múltiples, se construyó para desviar la corriente del río Min, un arroyo impetuoso que nace en la altiplanicie del Tibet. Se construyó una serie de presas y diques en la corriente principal en donde penetra por primera vez a la gran llanura desde su cañón montañoso, y los agricultores dividieron su corriente en muchas porciones a fin de poder regar medio millón de acres de tierra fértil. Las estructuras, compuestas de armazones de bambú lastradas con piedra, disminuían también considerablemente las numerosas pérdidas de vidas y propiedades ocasionadas por las inundaciones de primavera y verano.

LOS HÁBITOS del hombre y las formas de sus organizaciones sociales han sido influenciados más profundamente por su estrecha asociación con el agua que con la de la tierra en la cual ganaban su pan. Esta asociación se refleja en los salmos de los poetas hebreos y en las leyes, reglamentos y creencias de las civilizaciones del Cercano Oriente, del Lejano Oriente y de la América del Sur.

Se puede leer en el *Antiguo Testamento:* "...Una buena tierra, una tierra de corrientes de agua, de fuentes y remansos que nacen de los valles y de las colinas..." *(Deuteronomio,* 8:7.) "Te conocí en el desierto, en la tierra de gran sequía." (Oseas, 13:5.) "La sequía y el calor consumen el agua de las nieves..." (Job. 24:19.) "Puso los manantiales en los valles que corren entre las colinas, que dan de beber a todas las bestias del campo. Los asnos salvajes calman su sed y las aves del cielo anidan en sus riberas y cantan entre las ramas. Regó las colinas desde sus cámaras... Hizo que creciera la hierba para el ganado y las especies para el servicio del hombre..." (Salmo 104, 10-14.)

La propiedad del agua es mucho más antigua que la propiedad de la tierra en las tierras áridas de la antigüedad. Los derechos de propiedad se asociaban primordialmente con el uso del agua, primero para beber, después para riego. Mahoma vio el agua como objeto de caridad religiosa y declaró el libre acceso a ella como un derecho de cada comunidad musulmana, y que los que no fueran musulmanes, carecerían del agua. El precepto del *Corán:* "Nadie puede rehusar el agua sobrante sin pecar contra Alá y contra el hombre", fue la piedra angular de todo un cuerpo de tradiciones sociales y de reglamentos que regían la propiedad, uso y protección de los depósitos de agua.

Todas las personas que compartían derechos de propiedad en una corriente de agua eran responsables de su conservación y limpieza. Toda la comunidad era responsable de la conservación de las grandes corrientes de agua. La limpieza debía empezar al principio del arroyo o canal, descendiendo ordenadamente en cada familia ribereña. Todos los usuarios compartían el costo en proporción a sus derechos de riego.

Aun el matrimonio puede quedar influenciado por la dificultad para obtener agua. Los habitantes de una comunidad rural en el sudeste de Asia deben caminar muchas millas hasta un grupo de pozos, la fuente más cercana de agua para beber. La costumbre local decreta que son las esposas las que deben acarrear el agua. Una mujer sólo puede hacer un viaje diario con su cántaro, lo que no es suficiente para las necesidades de la familia, y, por lo tanto, el hombre encuentra conveniente tener varias mujeres.

Toda vida depende del agua. Actualmente, para nosotros el agua es tan necesaria para la vida y para la salud como lo era para nuestros antecesores prehistóricos. Como el aire, el agua se encuentra ligada a la evolución del hombre, y

sin duda a su destino, de innumerables maneras. Una de las condiciones básicas para la vida en la tierra es que haya agua en forma líquida.

Se cree que el origen de toda la vida en nuestro planeta es el mar, y en nuestra época, después de millones de años de evolución, los tejidos del hombre moderno están bañados todavía con una solución salina muy semejante al agua del mar cuando las primeras formas de la vida lo abandonaron para vivir en la tierra.

Sólo puede ocurrir todo proceso orgánico en un medio líquido. El embrión flota en un líquido desde la concepción hasta el nacimiento. La respiración, la digestión, las actividades glandulares, la disipación de calor y la secreción sólo pueden efectuarse en presencia de soluciones acuosas. El agua actúa como lubricante, ayuda a proteger ciertos tejidos contra daños externos y da flexibilidad a los músculos, tendones, cartílagos y huesos.

El papel del agua en el metabolismo, en la regulación de la temperatura del cuerpo y en la nutrición de los tejidos, explica el por qué no podríamos sobrevivir por mucho tiempo sin las cantidades adecuadas de agua, y sin embargo, nuestras necesidades corporales directas de agua son relativamente pequeñas en proporción con nuestro peso total (que en sí consiste de más del 71% de agua) y son infinitesimales en relación con la demanda total de agua de las sociedades humanas, aun entre las culturas primitivas.

Una persona ordinaria de la Zona Templada puede pasarla aproximadamente con 5.5 pintas diarias de agua, si es moderadamente activa. Con una dieta mixta normal se absorben poco más de 2 pintas de agua, o se crean en el cuerpo por la oxidación de los alimentos, especialmente los azúcares, almidones y grasas. Otras 3 pintas se absorben en forma líquida y en total se necesitan de 5 a 6 pintas para reemplazar las pérdidas diarias debidas a la respiración, exhalación y excreción.

Esa cantidad para un individuo determinado varía con su peso, edad, actividad, estado de salud y otros factores; pero a fin de que la vida continúe, hay que satisfacer esas necesidades básicas. El consumo de cantidades menores de las necesarias para reemplazar la pérdidas, producirá una disminución del apetito y eventualmente la desnutrición. Un hombre en buen estado de salud podría sobrevivir sin agua durante varios días en un desierto, si sólo tuviera una actividad moderada. Si tratara de desarrollar mayor actividad, no podría durar un solo día, por que las pérdidas consiguientes del agua del cuerpo, que pueden ser hasta de 10 pintas por hora, excederían considerablemente las pérdidas que se incurren con una actividad moderada, y a menos que pronto tuviera agua disponible, las pérdidas causarían su deshidratación, la incapacidad y una muerte dolorosa. En contraste, en aquellas partes de los Trópicos donde existen altas temperaturas y una humedad elevada, no puede mantenerse una alta proporción de actividad aun cuando haya agua en abundancia, ya que el cuerpo es incapaz de disipar el calor y de librarse de los productos de desecho con la rapidez necesaria para evitar un colapso de las funciones corporales.

El agua sirve de muchos otros modos para conservar la vida, la salud, el vigor y la estabilidad social. Se alteraría el valor nutritivo de las cosechas alimenticias con la cantidad de humedad disponible cuando se encuentran en crecimiento activo. Como las plantas sólo pueden absorber los minerales que se encuentran en la tierra cuando están en solución, las cantidades disponibles son mayores cuando la tierra está húmeda.

Los océanos, lagos, aguas corrientes y sus riberas, suministran alimento y vestido. El hombre ha buscado siempre en esos lugares una buena parte de su dieta de proteínas y carbohidratos. Las cantidades de peces, langostas, cangrejos y otros crustáceos, las aves acuáticas, los animales productores de pieles y otra fauna que frecuenta lo sitios ribereños, así como los tallos, raíces, tubérculos o frutos de los juncos, berros, caléndulas de pantano, castaños acuáticos y arroceros silvestres y de otra vegetación que prefiere el agua, han suministrado sustento a los pueblos de todo el mundo.

La existencia de agua en una localidad confiere ventajas a aquellos que poseen o usan esas tierras. Los lagos, estanques de castores, caídas de agua, cascadas, pantanos, manantiales o campos de nieve que caracterizan los desiertos, parques y otros lugares de recreo, y las variadas plantas y fauna que medran en ellos, constituyen un encanto que atrae a muchas personas al campo.

LAS SUPERFICIES naturales de agua, océanos, lagos y ríos, han facilitado grandemente la propagación mundial de la población y del comercio. La mayoría de los centros de habitación permanentes en las regiones áridas, tanto ahora como en la antigüedad, se han concentrado a lo largo de los valles de los ríos. Aun a lo largo de las costas, los centros de habitación se agrupan alrededor o en las cercanías de los depósitos de agua dulce. Los primeros egipcios en el Nilo y los incas en el lago Titicaca en el Perú, empleaban balsas construidas ingeniosamente de plantas nativas. Los troncos macizos, dotados con dobles balancines y plataformas, constituían embarcaciones que navegaban muy bien en Africa y Polinesia, y más tarde se construyeron embarcaciones con troncos ahuecados por el fuego y mediante herramientas toscas.

Los canales empleados primero para riego y más tarde para la transportación, facilitaron grandemente la transportación terrestre desde los primeros tiempos, como ocurrió entre los asirios, egipcios y chinos primitivos. El Gran Canal, construido en China en el siglo XIII, resolvió los problemas de riego y proporcionó también una importante arteria comercial para los productos de sus millones de habitantes. Los países europeos, especialmente Holanda, Francia e Inglaterra, desarrollaron más tarde extensos sistemas de canales entre las corrientes de agua naturales. En forma semejante, en la región de los Andes, en la América del Sur, los ríos son las arterias por las que el hule, la madera y otros productos del interior se mueven hacia la costa.

Al principio los primeros pobladores de los Estados Unidos de Norteamérica restringieron sus territorios costeros y pronto se movieron hacia el Oeste a través de las montañas, utilizando los ríos, tales como el Mohawk en Nuew York, el Potomac superior en Maryland y West Virginia y el Ohio. En 1790, poco tiempo después de que nuestro país obtuviera su independencia, a excepción de un 5%, la totalidad de los 4 millones de habitantes vivían todavía a lo largo de la costa del Atlántico; pero el camino hacia el Oeste se estaba descubriendo rápidamente. Las embarcaciones ribereñas habían remontado los ríos costeros hasta la línea de las cataratas y se habían construido canales para rodear las partes no navegables de los ríos de Pennsylvania, comunicando la ciudad de Reading en el río Schuylkill con Middletown en el Susquehanna, y rodeando los reciales de Harpers Ferry, West Virginia, en el Potomac. Después del éxito de la prueba de las embarcaciones movidas por vapor, comenzaron grandes flotillas a acarrear carbón y hierro en el río Ohio, en los Grandes Lagos y en el Mississippi.

A medida que el país se extendía y prosperaba, se volvieron las miradas a las oportunidades que existían en los ríos principales. Actualmente, a pesar de las extensas redes de ferrocarriles, carreteras y vías aéreas, nuestras vías fluviales navegables, desarrolladas principalmente por el Cuerpo de Ingenieros, tienen un total de más de 25,000 millas, y en 1953 transportaron un volumen de materias primas y manufacturadas que casi llegó a los 225 millones de toneladas. Es posible viajar en barco desde el Golfo de México hasta Sioux City, Iowa, o sea una distancia de 2,030 millas.

La civilización moderna impone fuertes demandas al agua. Se necesita una cantidad relativamente pequeña para conservar la vida, pero aun en las sociedades pastorales o en otras de una sencilla semejanza, se necesitan cantidades adicionales de agua para preparar los alimentos y lavar nuestros cuerpos y vestiduras. Las necesidades diarias para todos los fines en los pueblos antiguos, incluyendo la de la bebida, pueden haber sido en promedio de 3 a 5 galones por persona. En la actualidad una persona usa 60 galones o más diariamente, para las necesidades domésticas y el riego de los jardines en una granja ordinariamente elec-

trificada o en una casa urbana en los Estados Unidos de Norteamérica. Estas cifras son para casas con agua corriente, y el promedio correspondiente en casas que no cuentan con ese servicio es sólo de 10 galones diarios por persona.

En el nivel mínimo de comodidad de 5 galones diarios de agua que corresponde a las necesidades de las condiciones de una vida primitiva, los 165 millones de habitantes de nuestro país tendrían muy pocas dificultades serias con el agua. Ese consumo diario total de 825 millones de galones representaría el 0.07% del promedio diario nacional de aguas superficiales de 1,160 billones de galones, y el 1.2% de la cantidad usada en los Estados Unidos de Norteamérica que no puede aprovecharse una segunda vez.

Sin embargo, no podríamos haber alcanzado nuestra civilización tecnológica actual con un nivel de consumo de agua relacionado con las necesidades de las sociedades primitivas aun en nuestras regiones húmedas, en las que la necesidad de regar las cosechas es relativamente ligera. El continuo aumento en el consumo de agua en los países industrialmente adelantados explica por qué nos preocupan tanto nuestras existencias de agua.

No se ha dado la atención necesaria al impacto de los nuevos inventos y procedimientos y al incremento de la población y de la industria.

Han ocurrido, por lo tanto, críticas escaseces de agua locales que podrían haberse previsto. Por ejemplo, la electrificación rural ha producido un aumento tan grande en el uso del agua para fines domésticos y de producción, que ha hecho peligrar las escasas existencias de agua de los pozos de muchas granjas.

En forma semejante, se han construido fábricas sin estudios previos para determinar si habría agua suficiente para que pudieran funcionar y para proveer a las necesidades de las comunidades vecinas de ellas.

Los pueblos, las ciudades, las industrias y las granjas han continuado desarrollándose más allá de los límites seguros en relación con la disponibilidad del agua. A menudo se han hecho necesarios ciertos esfuerzos improvisados para enfrentarse a algunas emergencias, especialmente en los años de baja precipitación pluvial. Esos esfuerzos han apresurado a menudo el agotamiento de las limitadas reservas de agua de los depósitos subterráneos, han originado disputas con otras ciudades o industrias que se abastecen de las mismas reservas de agua, han creado conflictos en el uso del agua para fines recreativos y han traído consigo la amenaza de una inundación permanente de tierras de gran valor para la agricultura, para los fines forestales para las áreas de campo o para la fauna.

Para solucionar esas dificultades, se está prestando más atención al planeamiento anticipado de depósitos de almacenamiento, acueductos, canales, métodos para reemplazar el agua de la tierra y otros medios; pero continúa la búsqueda de mayores cantidades de aguas buenas. Los usos continúan aumentando y las normas progresistas de salud y comodidad, la aplicación de más intensas prácticas de labranza y el desarrollo de nuevos productos, crean exigencias adicionales. De hecho, la proporción del total de nuestras actividades económicas y recreativas, tanto en áreas rurales como urbanas, que depende de las cercanas y abundantes existencias de aguas limpias y buenas, es mayor ahora que en cualquier época de nuestra historia.

Es cierto que nuestras necesidades de agua son enormes, y sin embargo, no pueden compararse con las necesidades de los millones de gentes del Asia Menor, la India, el Africa y la América del Sur, que tienen todavía que recoger el agua de los estanques superficiales o arroyos contaminados o sacarla a mano de los pozos. Los viajeros relatan que en Madagascar las mujeres acarrean el agua en jarras que colocan sobre sus cabezas, caminando así muchas millas sobre tierras calientes y arenosas. En algunas regiones del Sudán egipcio, el agua se almacena en grandes troncos huecos de árboles, cuyas aberturas se cierran con arcilla húmeda para conservarla limpia. Se ven miles de estos pequeños depósitos, cada uno con capacidad de 300 a 1,000 galones, a lo largo de los senderos. En una provincia todos esos árboles están regis-

trados y se anota su contenido para tener una idea de las cantidades de agua disponibles.

Entre los primeros pobladores, especialmente al sur de los Montes Apalaches, se consideraba la propiedad y control de un manantial de agua limpia y abundante como requisito indispensable para la delimitación de un sitio de habitación. Una vez encontrado, el manantial se cuidaba como un tesoro, ya que significaba limpieza, salud y comodidad. Se le protegía contra toda contaminación y se le defendía contra toda invasión.

¡Cuánto nos hemos alejado del viejo manantial familiar! Han crecido muchas generaciones de hombres y mujeres sin haber experimentado el placer de saciar su sed en las aguas frescas y cristalinas de un manantial. Las prácticas de la vida moderna han hecho indispensable que dependamos de volúmenes de agua mucho mayores que los que podían suministrar ya fuera el manantial familiar o aun el de una comunidad. Muchos de nosotros hemos perdido el contacto con la tierra y con el agua pura que viene de sus profundidades, y tenemos que obtener nuestra agua desde lejanos ríos o depósitos, y eso sólo después de que se ha vuelto adecuada para su consumo mediante la filtración y el empleo de substancias químicas.

La tarea de encontrar, desarrollar y conservar cantidades suficientes de agua no se limita a los tiempos modernos, sino que ha tenido que emprenderse en donde quiera que un gran número de gente se ha congregado en un pequeño espacio.

Al discutir sobre el clima y la civilización (en su libro *Cambios Climatológicos,* editado por Harlow Shapley), Paul B. Sears escribió que la adelantada civilización de Babilonia se desintegró al final debido a que "durante muchos años los abundantes depósitos de sedimentos en los vivificantes canales (de riego) impusieron una carga cada vez mayor a las operaciones agrícolas", y añade: "Cada año era indispensable tanto trabajo para su limpieza, que quedaba muy poco tiempo disponible para otras actividades, y los grandes montones de sedimentos... crecían constantemente en altura y volumen. Probablemente esto se debió al incremento de la presión, causada por los cortes y pastos, sobre la vegetación de las tierras altas, cuyos sobrantes proporcionaban el agua. En estas condiciones el paisaje se hacía cada vez más vulnerable a los efectos del clima con sus lluvias violentas y poco frecuentes y sus vientos durante la estación de sequía."

Durante los varios siglos de estabilidad bajo el Imperio Romano, se habían construido extensos e intrincados sistemas hidráulicos para proporcionar agua pura a los millones de habitantes. La disposición de las aguas negras estaba muy adelantada para su tiempo, y en general se apreciaba debidamente el valor del agua limpia y de la salubridad en la vida doméstica; pero cuando se desintegró el Imperio, sobrevino el caos y los beneficios obtenidos con tanto esfuerzo se disiparon rápidamente. Las constantes guerras y disturbios políticos acabaron con las preocupaciones sociales relacionadas con el agua y sus suministros, entre otros importantes servicios públicos, y a medida que crecían la ignorancia y la pobreza, las precauciones sanitarias significaban menos y con el tiempo se consideró la limpieza como signo de depravación y de molicie. El baño, que antes se practicaba extensamente por sus valores terapéuticos, se abandonó por completo, y los ciudadanos no sentían el orgullo de la limpieza en sus hogares y en sus calles, que se volvieron cada vez más sucias. Peor aún, como el agua se obtenía en su mayoría de los pozoss, se fue contaminando más y más hasta hacer imposible su consumo.

Las enfermedades y la muerte, debidas a las enfermedades transmitidas por el agua, han sido un azote en todos los países hasta nuestros días, y han afectado no sólo a la gente pobre. Los archivos indican que muchos de los personajes famosos de la historia fueron víctimas de las enfermedades transmitidas por el agua, y entre ellos se encuentran los reyes Luis VIII de Francia y Carlos X de Suecia, el príncipe Alberto de Inglaterra, su hijo Eduardo VII y su nieto Jorge V. Se sabe que Jorge Washington sufrió de di-

sentería, y que Abigaíl Adams, esposa del segundo presidente de los Estados Unidos de Norteamérica, Zacarías Taylor, e irónicamente, dos hijas de Luis Pasteur murieron de fiebre tifoidea.

Aparentemente, la indiferencia popular hacia el agua pura y limpia perduró hasta bien entrado el siglo XIX, aun en Inglaterra y en los Estados Unidos de Norteamérica, en donde generalmente se conocían bien los peligros de las aguas contaminadas.

Actualmente se considera que los efectos del agua contaminada constituyen el obstáculo principal para la elevación del nivel de vida de los países subdesarrollados.

Se han hecho grandes progresos desde 1900 en la labor de satisfacer nuestras necesidades de agua, y hemos ido más y más lejos en su busca. Actualmente, por ejemplo, Los Angeles obtiene el agua necesaria no sólo localmente, de la Sierra Madre en el Sur de California, sino también del río Owens en el lado oriental de la Sierra Nevada, a 350 millas de distancia, así como del río Colorado, que se encuentra a 450 millas.

Sin embargo, no hemos acabado todavía, y se están buscando nuevas fuentes de agua para la creciente población del sur de California. Ahora se reacondicionan las aguas negras, que anteriormente se vaciaban en el Océano, y se emplean para riegos y usos industriales, y se está volviendo la vista hacia la parte norte del Estado, que tiene más agua y que está menos densamente poblada, mientras que los sabios están estudiando la posibilidad de convertir en potable el agua del mar.

Los actuales problemas del agua a que nos enfrentamos afectan a cada uno de nosotros. El ingeniero sanitario L. K. Sillcox, calcula que aproximadamente la cuarta parte del total de nuestra población se enfrenta a escaseces de agua, agua de mala calidad o a ambas cosas. Se ha duplicado la población desde 1900; pero el consumo de agua por cabeza se ha cuadriplicado, debido principalmente a las exigencias de la industria y de la agricultura. Los 17 Estados del Oeste, con una población aproximada de 37 millones de habitantes, consumen un promedio diario de 85 billones de galones (de los cuales se emplean 77 billones de galones solamente para el riego de tierras áridas de labranza), en comparación con 80 billones de galones en los 31 Estados del Este con sus 128 millones de habitantes. El agua usada en la industria llega a 65 billones de galones en el Este, comparada con 3 billones de galones usados en el Oeste. El riego de granjas en el Este sólo necesita 3 billones de galones; pero están aumentando tan rápidamente estos riegos y ha sido tan fuerte su impacto en los demás usos, que muchos Estados, entre los que se cuentan South Carolina, Georgia, Minnesota y Wisconsin, están estudiando cuidadosamente sus políticas hidráulicas con el fin de promulgar nuevas leyes que sean mucho más adecuadas para el problema.

El ingeniero Sillcox calcula el monto de la ley anual de suministro de aguas en 3 billones de dólares, de los cuales corresponden 500 millones de dólares al sector urbano. Los agricultores consumen 200 millones de dólares (principalmente en agua de riego). Las inversiones en depósitos, acueductos y otras obras necesarias para el aprovechamiento y control del agua llegan aproximadamente a 50 billones de dólares, en comparación con los 32 billones de dólares invertidos en la construcción de ferrocarriles. (Es de esperarse que en los próximos 50 años veamos inversiones semejantes de 75 a 100 billones de dólares de parte de los intereses privados, estatales y federales.)

La solución del problema de los desperdicios de la industria es otro asunto difícil y urgente. El Servicio de Salubridad Pública calcula que se necesitarían de 9 a 12 billones de dólares para librar de contaminación ríos, y de 12 a 15 billones de dólares adicionales para conservarlos limpios.

Un caso especial de contaminación relacionado con la salud del hombre es la protección contra los desechos radioactivos de las existencias rurales y municipales de agua.

El año próximo traerá un aumento en uso de materiales radioactivos empleados en procesos de manufactura, en la pro-

ducción de energía eléctrica y para fines de experimentación en los campos de la medicina, la agricultura y la industria. El solo funcionamiento de los reactores de energía nuclear producirá un aumento múltiple en las cantidades de radiación que se liberen en la atmósfera.

Los materiales radioactivos esparcidos en la atmósfera se depositan más pronto o más tarde en la superficie de la tierra, incluyendo los arroyos y lagos. Mucha de esa radiación no es perjudicial y gran parte de la que penetra en los depósitos municipales u otras aguas superficiales se vuelve inofensiva mediante la aplicación de métodos modernos para su descubrimiento y tratamiento. Sin embargo, se desconocen todacía los efectos acumulativos a largo plazo que puedan tener las pequeñas cantidades de radiación perjudicial en los seres humanos, y que permanecen todavía en el agua que bebemos, aun después de haber sido debidamente tratada.

Los estudios efectuados indican que el agua que viene de las profundidades de la tierra, tal como la de los pozos muy profundos, es mucho menos susceptible a contaminarse con materiales transportados en el aire que las aguas superficiales. Otras investigaciones indican que los métodos de destilación empleados para purificar el agua son eficaces para eliminar las fuentes de radiaciones perjudiciales, aun en grandes cantidades. Probablemente el futuro nos traerá medios radicalmente diferentes para proteger nuestras existencias de agua, y tal vez las mismas condiciones de las vertientes hidráulicas que favorecen el lento movimiento del agua a través de la tierra en los depósitos subterráneos puedan resultar altamente benéficas para facilitar la purificación natural de las aguas contaminadas. Si esto es así, el cuidado de las vertientes hidráulicas, especialmente las de aquellas localidades que representan fuentes de abastecimiento de las aguas subterráneas, tendrá un significado mucho más importante, ya que proporcionará una salvaguarda adicional para la salud de la humanidad.

La forma de convertir las tumultuosas aguas de las inundaciones en servicios útiles constituye un desafío a nuestro ingenio. El rápido crecimiento de población en localidades nuevas o ya habitadas, en las llanuras que se inundan y en las laderas de las colinas, y el correspondiente incremento de carreteras, aeropuertos, fábricas y habitaciones, han agravado la tendencia de los ríos, arroyos y riachuelos a romper sus vallas cuando las lluvias aumentan el deshielo de las nieves. A pesar de los fuertes desembolsos para la construcción de represas, diques, presas y otros medios de controlar los desbordamientos, los daños causados por las inundaciones alcanzan un promedio anual de 1.2 billones de dólares, incluyendo el valor de la tierra perdida en las granjas productivas y el costo que implica la remoción de sedimentos y desperdicios en los canales de riego y en las presas, así como en las granjas y calles de las ciudades.

TENEMOS QUE combinar nuestros esfuerzos si deseamos aplicar soluciones apropiadas y duraderas a nuestros problemas del agua. Pocas actividades han puesto tan al descubierto la interdependencia que existe entre los individuos, las comunidades, los Estados, las regiones y naciones como nuestras inquietantes preocupaciones con este producto de los cielos. La forma en que se mueve sobre la tierra y si nos ayuda o nos perjudica depende de su comportamiento durante su vuelta al mar y a la atmósfera. El comportamiento del agua refleja directamente las condiciones y usos a que se destinan las tierras de donde escurre. Como las zonas de desagüe se componen de muchas clases de tierra de propietarios diferentes, nuestros esfuerzos para mejorar las características del agua que consideramos perjudiciales, ponen en juego los arraigados, aunque a menudo ocultos instintos de cooperación inherentes en todas las formas de la vida. En ese sentido, el agua, probablemente en grado mayor que cualquier otro recurso, tiene un significado social.

Cuando se preparan en debida forma los planes para el máximo desarrollo de nuestros recursos hidráulicos para el prolongado beneficio de todo nuestro pueblo, pueden ligar conjuntamente al individuo y a la comunidad, al agricultor y al habi-

tante de las ciudades, como pocas actividades de conservación pueden hacerlo. Probablemente la conservación ha recibido su mayor ímpetu desde que hemos considerado nuestras relaciones con la tierra, los bosques, la fauna, el recreo, el bienestar de la comunidad y el desarrollo industrial a la luz de sus relaciones internas con el agua. Gran número de gente se ha informado e interesado en estos asuntos debido a nuestras preocupaciones con el agua y a nuestros esfuerzos para solucionarlas en las tierras de las vertientes hidráulicas y en los lechos de los ríos, que han tenido un impacto directo en sus asuntos personales, económicos, sociales o recreativos. Así los agricultores de la vertiente hidráulica del río Rifle en Michigan, que antes parecían estar indiferentes para reconstruir sus tierras destruidas por la erosión, participan con entusiasmo en un programa para el mejoramiento de esas vertientes, porque se han convencido de que ese programa beneficiará considerablemente la pesca en sus arroyos locales.

En forma semejante, la indiferencia hacia los lechos de los arroyos que antes se hacía patente al usarlos como sitios para tirar basura y desperdicios, está cambiando ahora mediante el desarrollo de la apreciación, tanto individual como de grupo, de lo que el agua pura significa para su bienestar. En cientos de comunidades, los hombres, mujeres, niños y niñas están estudiando, pensando, proyectando y llevando a cabo programas para restaurar el atractivo y la utilidad de sus corrientes de agua locales, y al hacerlo están desarrollando una apreciación positiva del significado de una vida en armonía con sus semejantes y con el ambiente natural que los rodea. A medida que ese sano afán de cooperación se propaga en todo el país, los norteamericanos nos sentimos enriquecidos con la mutua comprensión, más seguros espiritualmente y más unidos en nuestros propósitos.

BERNARD FRANK *es ayudante en jefe de la División de Conservación de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Investigación Forestal, y es autor de muchos artículos sobre recursos hidráulicos.*

Necesaria, conveniente, común

Sterling B. Hendricks

EL AGUA ES NECESARIA para toda clase de vida, es conveniente para muchos usos y es común en muchas de sus funciones.

Sin embargo, las cosas que son comunes son las que menos se aprecian y las más difíciles de comprender. Prestamos gran atención al movimiento del agua de un lugar a otro en forma de vapor y nubes en la atmósfera, en forma de lluvia sobre la tierra y luego en forma de arroyos y ríos que vuelven de nuevo al mar. Sabemos que el agua es el líquido más abundante en la Tierra. Utilizamos o luchamos contra su tendencia a buscar su propio nivel. Sin embargo, al considerar sus deseos, abundancia y propiedades, debemos tener siempre presente esta premisa principal: El agua es necesaria para la vida.

¿Qué es el agua? ¿Por qué es necesaria?

Las propiedades del agua, tales como la que le permite flotar cuando está en forma de hielo, pueden explicarse por la estructura de sus moléculas, de las que hay 1 trillón de trillones en una onza de agua.

Las moléculas están compuestas de tres partículas elementales, o átomos, dos de hidrógeno (H) y uno de oxígeno (O), o expresándolo como símbolo, H_2O, lo que constituye uno de los compuestos más sencillos. Los tres átomos están sujetos entre sí por dos vínculos químicos en la siguiente forma: H-O-H. Los átomos consisten de cargas negativas o electrones (e) que se mueven alrededor de un núcleo positivo central. El número de electrones en un átomo constituye el número atómico de cada elemento en el sistema periódico de todos ellos. El hidrógeno es el primero de los elementos y por lo tanto tiene un solo electrón, mientras que el oxígeno tiene ocho. Los vínculos químicos o cadenas químicas se forman por pares de electrones. Las cadenas químicas en el símbolo H-O-H se forman por el complemento de dos pares, asociándose cada uno de los átomos H con uno de los dos electrones no apa-

reados del átomo de oxígeno. De los seis electrones restantes del oxígeno, cuatro están mucho más alejados del núcleo que los otros dos. Los ocho electrones exteriores en el símbolo H_2O tienden a formar cuatro pares de electrones que se encuentran tan separados como pueden estarlo sin perder la atracción del núcleo de oxígeno, encontrándose así cerca de las esquinas de un tetraedro, o sea un sólido limitado por cuatro caras planas.

Una característica adicional de la molécula de agua consiste en que el H ligado al O está rodeado asimétricamente de electrones, así que hay una separación de carga o característica polar. Si se encuentran presentes otras moléculas con electrones exteriores desligados, hay una tendencia del H a aumentar la simetría de lo que lo rodea, aproximándose a un par de electrones que se encuentren en la misma línea de su vínculo químico con el oxígeno, o sea 2e-H-O en línea. La atracción resultante, en caso de que 2e se encuentre en otra molécula de agua, es aproximadamente 6% mayor que la del vínculo H-O.

Las propiedades del agua se derivan de la vinculación del hidrógeno y de la disposición en un tetraedro de los pares de electrones alrededor del átomo de oxígeno.

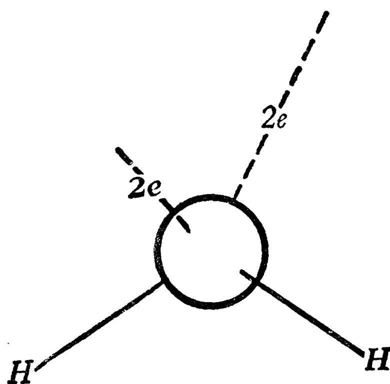


Diagrama de la molécula del agua

En el diagrama anterior de la molécula de agua, las líneas punteadas simbolizan la tendencia de la vinculación de hidrógeno producida por la nube difusa de electrones en dirección de las mismas. Varias moléculas unidas conjuntamente por el vínculo del hidrógeno, como ocurre en el agua en estado sólido o líquido, forman un conjunto de grupos de tetraedros, y cada molécula está vinculada con otras cuatro más, a las que se aproxima.

El principio de la vinculación nos da el fondo necesario para explicar las propiedades del agua. Esas propiedades pueden dividirse en dos clases, dependiendo de que se destruyan los vínculos químicos entre los átomos H y O, o de que sólo se destruyan los vínculos del hidrógeno, dejando intacta la molécula H_2O.

Son de la primera clase los cambios químicos, tales como la oxidación del hierro, la formación de arcilla en las tierras o la división del azúcar de caña en el estómago, en los cuales se destruyen los vínculos químicos.

Pertenecen a la segunda clase los cambios físicos, tales como la fusión del hielo, la evaporación en una caldera o en un lago o la resistencia viscosa al flujo en un tubo o en un arroyo. La mayoría de los asuntos tratados en este libro se refiere a las propiedades relacionadas con los cambios físicos, que son las que puede controlar el hombre. La vida, sin embargo, depende de ambas clases, ya que la energía se deriva de las reacciones en que se destruyen los vínculos químicos. Se utiliza la acción física recíproca en la acción resolvente y en la conservación de estructuras, tales como la estructura de la carne o de las hojas, como puede verse si se compara una criatura viva con una momia, o una hoja de hierba verde con el heno.

Una sencilla propiedad física que tenemos que considerar en primer lugar es que cuando el agua se calienta, se evapora muy lentamente si se le compara con otros líquidos que tienen moléculas sencillas. En otras palabras, el calor de la vaporización es alto. La vaporización consiste en la separación de las moléculas de un líquido, o en vencer la atracción entre ellas. El alto grado de calor de la vaporización es consecuencia directa de la fuerza de la vinculación del hidrógeno entre las moléculas. De hecho, como en el agua hay dos vínculos de hidrógeno en cada molécula, el calor de la vaporización es aproximadamente del doble de la energía de la vinculación del hidrógeno, o sea 540 calorías por gra-

mo (9,700 por gramo de peso molecular) o 4,850 calorías por número molecular de vinculaciones de hidrógeno.

Debido al alto grado de calor de la evaporación, se pierde muy poca agua por evaporación en los riegos que se hacen desde arriba. La evaporación que ocurre, sin embargo, causa un gran enfriamiento, y, por lo tanto, una torre de aspersión es muy eficaz para enfriar el agua si la humedad relativa es baja.

Es por esta razón que una persona puede sentir escalofríos al salir de nadar. El rocío sólo se forma cuando se disipan grandes cantidades de calor; pero el rocío así formado es muy lento para evaporarse, y esto afecta considerablemente la propagación de algunos hongos y transmisores de enfermedades de las plantas que requieren agua en estado líquido para su crecimiento.

Un segundo resultado del alto calor de la vaporización consiste en que el punto de ebullición del agua es muy alto. En otras palabras, las moléculas del líquido tienen que moverse enérgicamente antes de que puedan soltarse en el vapor, siendo ese movimiento el resultado del aumento de la temperatura. En la escala centígrada, el agua a presión atmosférica hierve a los 100° siendo 0° su punto de congelación, mientras que el oxígeno (O_2) hierve a —183°, y el nitrógeno (N_2) hierve a —196°. Estas diferencias se deben principalmente a la parte de hidrógeno en la vinculación del mismo. El metano, CH_4, o gas natural, hierve a —161°, aunque tiene el mismo peso por molécula que el H_2O. Este bajo punto de ebullición se debe en gran parte al hecho de que todos los electrones exteriores de la molécula de metano están unidos solamente con vínculos químicos, sin ningunos pares de electrones libres que puedan participar en la vinculación del hidrógeno.

El agua, por lo tanto, se encuentra presente en la tierra como un líquido, y no solamente en la forma gaseosa como ocurre con el nitrógeno y el oxígeno, los abundantes elementos constituyentes del aire. Varios otros planetas que tienen mayores masas (y por tanto constantes de gravedad más altos) que nuestra Tierra y que se encuentran más alejados del sol (Saturno y Júpiter), tienen metano líquido y otros hidrocarbonos en su superficie.

Probablemente la vida se inició en el agua en estado líquido y todavía depende de ella, aun en las criaturas de los desiertos que no beben nunca. Es dudoso que haya podido iniciarse la vida en los mares de hidrocarbono de Júpiter.

Consideremos ahora como una propiedad física adicional de gran importancia el hecho de que el hielo es más liviano que el agua. Probablemente el agua es la única sustancia que tiene esta propiedad, que afecta grandemente al hombre en los climas fríos y templados al hacer que los lagos se hielen de la superficie hacia abajo en vez del fondo hacia arriba, lo que ocasiona la rotura de radiadores y tuberías, el levantamiento de las tierras y el desgaste gradual de las montañas, y hace que los patines se deslicen al patinar, por la baja del punto de fusión del hielo debida a la presión, consecuencia de la menor densidad del hielo comparado con el agua.

La explicación de que el hielo flote, así como del elevado calor de la fusión y de la resistencia al flujo del agua, depende de las características direccionales de los vínculos del hidrógeno, como se hizo notar en la primera ilustración. En el hielo a baja temperatura, cada molécula de agua está rodeada ordinariamente en las cuatro esquinas de un tetraedro por otras moléculas de H_2O. Aunque la estructura está sujeta firmemente, es muy abierta en comparación con las estructuras de la mayoría de las demás sustancias en las que cada átomo o grupo de átomos tiene 6 o más vecinos, siendo su número de 12, por ejemplo, para los metales comunes, en los que los átomos están muy próximos unos a otros, como la fruta de una caja.

Cuando el hielo se calienta de una baja temperatura al punto de ebullición, se aumenta el movimiento de las moléculas de H_2O hasta que comienzan a romper los vínculos de hidrógeno que las mantienen en su estructura normal. Cuando se suelta aproximadamente el 8% de ellas y se colocan en los vacíos del conjunto de tetraedros, toda la estructura sufre una ligera destrucción, que a su vez

causa la fusión, y la densidad aumenta a más de 9%.

Como tienen que romperse muchos vínculos de hidrógeno antes de que ocurra la fusión y como la fuerza de cada uno de ellos es bastante grande, el punto de fusión (0°) y el calor requerido para la fusión (86 calorías por gramo) son relativamente altos. El agua se hiela entonces dentro de la gama de temperaturas de la tierra, y al congelarse despide calor para contrarrestar las bajas temperaturas. El alto grado de calor necesario para fundir el hielo lo hace un excelente refrigerante, y esto y la comodidad de su empleo hacen que se use extensamente en los carros refrigerados.

El agua constituye una defensa contra las altas y bajas de temperaturas, y por lo tanto, mejora considerablemente el clima en la proximidad de los océanos y grandes lagos.

Los sólidos fluyen tan bien como los líquidos, habiendo dos requisitos para que ocurra ese flujo. Primero, hay que vencer la resistencia de las fuerzas que mantienen las moléculas unidas, y segundo, debe haber una abertura en la estructura a la que pueda cambiarse la molécula. Por lo tanto, el agua, con su alta energía de vinculación entre moléculas, ofrece una resistencia al flujo relativamente alta, si se le compara con otros líquidos, tales como la gasolina o el éter. Esa resistencia limita la velocidad de los barcos, así como el paso del agua a través de un tubo o en un arroyo. Una corriente de agua que tenga una gradiente o pendiente fija, queda limitada por esa resistencia en relación con la cantidad de agua que puede descargar.

Las grandes masas de hielo que sufren una presión en su parte posterior fluirán lentamente en forma de sólidos en los glaciares. En esa forma pesada y lenta se ha aplastado y nivelado la superficie de nuestro continente al norte de los ríos Ohio y Mississippi y se han esculpido las montañas del Oeste, y la tierra cambiada así es muchos millones de veces mayor que la que ha sido movida por el hombre desde sus principios. El hielo fluye mucho más lentamente que el agua, porque el número de aberturas a donde pueden moverse las moléculas después de romper el vínculo del hidrógeno es muy limitado y porque esos vínculos se rompen en mucho menor número durante un periodo de tiempo determinado.

El agua se une firmemente a sí misma, propiedad a la que llamamos cohesión. Se une también a algunas superficies, y a esto le llamamos adhesión. Naturalmente, esas fuerzas de cohesión y adhesión en el agua se deben principalmente a la vinculación del hidrógeno.

Consideremos primero la adhesión, la propiedad de adherirse a otras substancias. El agua se comporta de manera diferente en la parafina y en el vidrio. El mojado del vidrio, que tiene importancia en el funcionamiento de un limpiador de parabrisa de automóvil, se debe a la formación de vínculos de hidrógeno entre los átomos de oxígeno, que forman parte de la estructura superficial del vidrio, con los átomos de hidrógeno de las moléculas de H_2O. Otras substancias que contienen grandes cantidades de átomos de oxígeno, tales como la arcilla y la celulosa, se mojan con facilidad en forma semejante, y por ello la ropa de algodón, que consiste de celulosa, absorbe el sudor, y la arcilla se suspende con facilidad en el agua y hace que los arroyos se vuelvan lodosos; pero la parafina no se moja, porque el menor número de sus átomos polares de hidrógeno no permite que se formen fácilmente vínculos de hidrógeno. En posición intermedia entre el vidrio y la parafina se encuentra el nailon, que tiene algunos átomos de oxígeno, lo que le da cierta capacidad para mojarse, pudiendo absorber el agua y secándose luego rápidamente.

Un ejemplo de cohesión, la tendencia del agua a uniirse a sí misma, es la flotación de una aguja en la superficie del agua. Esto se puede lograr fácilmente si se coloca la aguja con sumo cuidado a fin de evitar que se rompa la superficie del agua, lo que en otras palabras significa que se necesita fuerza para separar el agua y crear dos nuevas superficies. En cierto sentido, a la fuerza se opone una tensión, y esa tensión superficial del agua es mucho más alta que la de otros líquidos debido a la vinculación del hidrógeno.

De la tensión superficial del agua, pue-

de calcularse que se necesita una fuerza de casi 210,000 libras para romper una columna de agua que tenga una sección de una pulgada cuadrada, cifra teórica que no puede obtenerse en la realidad debido a las fallas en la estructura del agua y a la presencia de gases disueltos en ella, que causan burbujas; pero se ha alcanzado un límite práctico aproximado de 2,000 libras por pulgada cuadrada, o sea alrededor del 1% del máximo. Por lo tanto, el límite de resistencia a la tensión del agua es aproximadamente el mismo que el de algunos aceros.

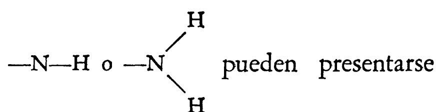
La capacidad del agua para subir a lo largo de pequeños tubos que pueden mojarse es muy importante en su empleo por las plantas y en la retención del agua en las tierras. Se conoce como capilaridad o acción de pábilo, y depende tanto de la cohesión del líquido como de su adhesión a las paredes. La altura a que se eleva el líquido se determina por la tensión superficial y el peso de la columna. Ese peso depende de su sección y del largo de la columna. El agua de la columna está bajo tensión, en forma semejante a un alambre que se estira, y la tensión disminuye la presión del vapor con el que se equilibra la superficie a una temperatura dada.

El agua penetra a un árbol a través de sus raíces y asciende por una serie de pequeños pasajes en la madera, para perderse por evaporación en las hojas. Si el aire que se encuentra al extremo superior de las columnas de agua que terminan en las hojas tiene una humedad relativa de 99%, o menos, puede sostenerse una columna de agua que tenga por lo menos 430 pies de altura (a una tensión de 200 libras por pulgada cuadrada). El diámetro de los conductos de la madera y la humectabilidad de sus paredes no tienen importancia alguna; pero el agua en las hojas debe estar en conductos capilares muy finos, que tengan paredes que puedan mojarse. El equilibrio del agua con el vapor en la superficie de esos pequeños conductos capilares proporciona la tensión que sostiene la columna.

Las tierras almacenan el agua en cavidades entre sus partículas, muchas de las cuales tienen paredes que pueden mojarse. La capilaridad funciona en todos los huecos y es de mayor importancia en los pequeños, en donde el líquido permanece más tiempo a medida que se va secando, es decir, a medida que disminuye la humedad relativa de la tierra debido a la pérdida de agua. Esta retención de agua en la tierra contra la fuerza de gravedad es un requisito primordial para poder cultivarla.

Las propiedades resolventes del agua son las que la hacen tan importante en la vida de las plantas y de los animales. Esa acción resolvente es de dos tipos, y en ambos de ellos el agua es única entre los líquidos.

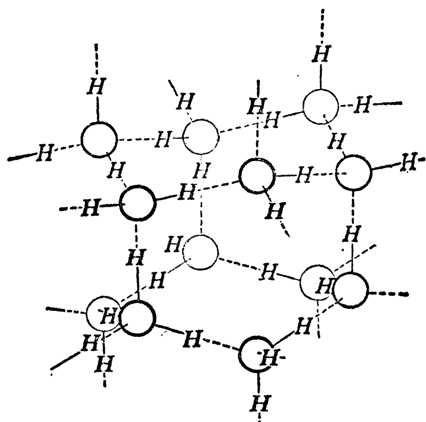
Un tipo depende de la vinculación del hidrógeno. El otro depende de la separación de las cargas eléctricas, o característica polar, en el sentido de polos eléctricos. Los azúcares, los alcoholes, el ácido acético y otros ácidos orgánicos, fosfatos, nitratos, compuestos amoniacales y muchas otras substancias que tienen átomos de oxígeno, grupos —O—H o nitrógeno vinculado a átomos de hidrógeno,



en soluciones acuosas mediante la vinculación del hidrógeno, y son los compuestos comprendidos en el almacenamiento y transferencia de energía por las plantas o animales vivos, constituyendo la materia prima para la producción de otros compuestos, teniendo que transportarse de una a otra parte del sistema vital. El agua, por la acción resolvente de la vinculación de hidrógeno, es el medio de transporte en el fluido sanguíneo o en la savia de las plantas.

La acción polar disolvente del agua depende de la separación de la carga entre los átomos de hidrógeno y oxígeno de la molécula de H_2O. Entre las substancias que tienen forma líquida a la temperatura ordinaria, el agua tiene una separación de carga extremadamente alta. Varias sales se mantienen en solución mediante la acción recíproca de la carga, y entre ellas se cuenta el cloruro de sodio, que el hombre necesita como ácido en su estómago y por su acción sobre el

suero de la sangre. La acción polar recíproca disuelve también las sales de potasio, que constituyen uno de los tres componentes principales que se suministran en los fertilizantes y están comprendidos en la actividad muscular.



Formación de moléculas

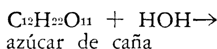
Consideremos finalmente las propiedades químicas del agua, que dependen de la ruptura de los vínculos H—O—H entre los átomos de hidrógeno y oxígeno de sus moléculas. Como éstas son polares, tienen cierta separación de carga eléctrica, y en el líquido es tan completa la separación de unas cuantas moléculas que da dos partículas, o iones, de cargas opuestas, H^+ y OH^-. Aquí, el átomo de hidrógeno sencillamente se va, dejando su electrón con el par vinculado de electrones del átomo de oxígeno, dejando la parte sobrante de las moléculas (OH^-) con una carga negativa extra. El H^+ es el ion de hidrógeno o de los ácidos; OH^- es el hidróxilo o ion de las bases, tales como la lejía. Cuando el bióxido de carbono, CO_2, se disuelve en el agua, actúa con esos iones en la siguiente forma.



$$CO_2 + HOH \rightleftarrows H^+ + HCO_3$$

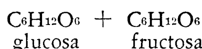
Esta es la reacción de las bebidas carbonatadas, y es también de vital importancia para mantener constante la acidez de la sangre y para conservar en solución el bióxido de carbono, (formado por el metabolismo del cuerpo), para entregarse a los pulmones. La acción química del bióxido de carbono y el agua disuelve la piedra caliza para formar cuevas.

El agua puede dividir muchos compuestos para formar otros dos distintos. El azúcar de caña, por ejemplo, queda dividido en partes iguales de glucosa y azúcar de frutas (fructosa), usándose una molécula de agua. Sin embargo, tiene mayor importancia en la vida la división por el agua de algunos compuestos de fosfato. El procedimiento libera energía que puede emplearse para construir otros compuestos.



$$C_{12}H_{22}O_{11} + HOH \rightarrow$$

azúcar de caña



$$C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

glucosa fructosa

El agua tiene una parte esencial en la fotosíntesis, el procedimiento mediante el cual la energía de la luz solar se convierte en vida, primeramente para la vida de las plantas, y después, mediante el consumo de plantas, para la vida de los animales. La luz del sol en la planta verde hace que se produzca oxígeno del agua y que los átomos de hidrógeno se transformen eventualmente en bióxido de carbono en forma tal que se produzca azúcar. Las plantas y animales usan el oxígeno en su metabolismo para regenerar el bióxido de carbono.

En tal forma, el agua, el oxígeno y el bióxido de carbono forman el ciclo completo de la vida, en el cual los indispensables átomos de hidrógeno se mueven de uno a otro lado, actuando la luz solar como motor de ese ciclo.

STERLING B. HENDRICKS *es investigador de ciencias físicas y biológicas del Departamento de Agricultura, habiendo hecho importantes investigaciones sobre arcillas, nutrición de plantas y efectos de la luz en las mismas. Es miembro de la Academia Nacional de Ciencias.*

Los animales, las aves y el agua

Joseph F. Sykes

EL AGUA ESTÁ estrechamente relacionada con todas las reacciones internas del cuerpo animal.

El agua es necesaria para la disolución de las materias alimenticias y de los productos de desecho, y para el movimiento de ambos dentro y fuera de los tejidos del cuerpo.

La eficiente transportación de oxígeno a los tejidos y la remoción del bióxido de carbono del tejido pulmonar por medio de la corriente sanguínea, depende del rápido flujo de la sangre y de la conservación de una cantidad adecuada de ella, de la que aproximadamente el 80% es agua.

El agua facilita las varias reacciones químicas de las células de las que dependen las actividades vitales y es parte integrante de los complejos coloidales de los tejidos. Sus propiedades físicas hacen que sea un factor importante en la transferencia de calor en el cuerpo, así como en la regulación de la temperatura. Una indicación de su importancia en esas funciones la constituye el hecho de que el volumen de agua que entra y sale en la corriente sanguínea en un minuto es mayor que el volumen de agua que existe ordinariamente en la parte fluida de esa misma corriente sanguínea.

Sin discusión, el agua es el ingrediente más abundante en el cuerpo animal en cualquier etapa de su desarrollo. El embrión en desarrollo puede contener hasta 90% de agua. El cuerpo de una ternera recién nacida contiene de 75 a 80% de agua, y ese contenido va disminuyendo hasta la madurez, cuando del 50 al 60% del cuerpo de un animal magro consiste de agua. En los animales muy gordos el contenido de agua puede no ser mayor de 40%. Aparte de los tejidos grasosos, la mayoría de los tejidos blandos del cuerpo consisten de 70 a 90% de agua.

La concentración de agua en los tejidos se mantiene normalmente a niveles casi constantes. Una seria disminución del consumo de agua hace que baje el contenido de la misma en los tejidos y la sangre se hace más concentrada. La concentración de la sangre significa una circulación defectuosa, un transportador de oxígeno poco eficiente y una escasez de oxígeno en los tejidos, tendiendo a acumularse los productos de desecho. Finalmente, se suspenden las actividades vitales y sobreviene la muerte.

Los animales pueden perder casi todas sus grasas y aproximadamente la mitad de las proteínas de su cuerpo y sobrevivir todavía; pero una pérdida aproximada de una décima parte del contenido de agua de su cuerpo significa la muerte.

No es de sorprender, por lo tanto, que el mayor desarrollo de la industria ganadera ocurra generalmente en las regiones templadas, cuya gran mayoría cuenta con lluvias abundantes, sin que esto quiera decir que los efectos benéficos de los climas templados se deban solamente a la provisión de agua para el consumo de los animales, sino que también es necesaria una precipitación pluvial adecuada para la producción de alimentos, pasturas y forrajes.

En climas calientes y secos, los efectos desfavorables de la escasez de agua en el ganado, se acentúan con lo inadecuado de las existencias alimenticias para los animales que pastan. De hecho, si se pudiera proporcionar un suministro adecuado de forrajes en muchas de las praderas semiáridas en donde se conservan animales, disminuirían considerablemente las necesidades de agua corriente para los mismos. Muchos de los pequeños mamíferos del desierto pueden vivir durante largos periodos sin ninguna fuente aparente de agua, a excepción de la que contienen las semillas secas y las plantas que consumen. No parecen diferenciarse grandemente de los animales domésticos, más grandes en su necesidad del agua o en sus mecanismos para conservarla, con la sola excepción de que están más capacitados para protegerse ellos mismos contra los efectos del medio ambiente caliente que los rodea, permaneciendo inactivos y en la sombra en las horas más cálidas del día. Las ovejas que pastan pueden permanecer sin beber durante muchas semanas, y pueden vivir y desarrollarse sin necesidad de agua para beber.

TENEMOS RELATIVAMENTE pocos datos sobre las necesidades reales de agua de los animales bajo condiciones de praderas o pasturas y sobre el efecto de las restricciones del consumo de agua en el crecimiento.

Los sabios del Africa del Sur han correlacionado la proporción de crecimiento del ganado y los carneros con los periodos de sequía y con los de lluvias abundantes. Observaron que los animales pierden peso durante los periodos de sequía, y que el periodo de mayor crecimiento relativo en el Africa del Sur sigue a los periodos de abundantes lluvias con una diferencia aproximada de tres meses. Los sabios concluyeron que el efecto más perjudicial de la sequía es el que causa en el crecimiento de las plantas y el consumo de alimentos, y que las restricciones en el consumo de agua no constituyen un factor importante en las proporciones inferiores de crecimiento.

S. S. Hutchings, de la Estación de Praderas desérticas de la Estación Experimental Intermontañosa de Bosques y Praderas de Utah, descubrió en una serie de investigaciones que los carneros de las praderas aumentaban de peso en promedio 3.4 libras cada uno en un periodo de 40 días, durante el cual se les daba agua diariamente. Cuando se les daba agua cada tercer día, aumentaban 0.8 de libra cada uno, y perdían 6.0 libras cada uno cuando sólo se les daba agua cada tres días. Los carneros que se conservaban en tierras sumamente pastadas y en senderos de nieve que constituían la única fuente de agua, perdieron un promedio de 11 libras cada uno en un periodo de 10 días.

Bajo sistemas de explotación más intensa de ganado, I. W. Rupel, de la Estación Agrícola Experimental de Wisconsin, descubrió, mediante sus experimentos, que las terneras de establo a las que se alimentaba con leche descremada y heno y se les daba agua dos veces al día, aumentaban 1.8 libras diarias. Otras terneras, alimentadas en forma semejante, pero a las que no se les permitía el acceso al agua, aumentaron solamente 1.36 libras diarias.

V. W. G. MacEwan y V. E. Graham, de Canadá, descubrieron que las vacas lecheras que tenían agua ante ellas en todo tiempo, producían 5.59% más mantequila que cuando se les daba agua dos veces al día.

Los experimentos semejantes efectuados en el Centro de Investigaciones Agrícolas de Beltsville por T. E. Woodward y J. B. McNulty, indicaron que el dar de beber una o dos veces al día comparado con el suministro de agua en bebederos, tenía poco efecto en la producción de la leche de las vacas lecheras poco productoras, aunque ocurrió una baja hasta de 6% cuando se dio de beber una o dos veces al día a las vacas lecheras de alta producción.

Los estudios efectuados por F. W. Atkeson y T. R. Warren, de la Estación Experimental de South Dakota, no pudieron demostrar que la frecuencia de la bebida tuviera ningún efecto marcado en la producción de leche, aunque las vacas perdieron peso cuando se les dio de beber una sola vez al día y lo recuperaron cuando se les dio de beber por lo menos dos veces diarias. Cuando se restringió el agua aproximadamente a la mitad de la ración ordinaria, la producción de leche bajó de 18.3 a 14.1 libras diarias.

La tabla siguiente, tomada de datos proporcionados por W. O. Wilson y W. H. Edwards, de la Estación Agrícola Experimental de California, demuestra el efecto de la falta de agua en pollas White Leghorn conservadas en un ponedero a una temperatura de 90° F. Se privó de agua a grupos de pollas durante 24, 48 o 72 horas en un periodo experimental de 7 días. Además de perder peso bajó la producción de huevos, así como el consumo de alimento:

RESTRICCIÓN DE AGUA, PÉRDIDA DE PESO Y PRODUCCIÓN DE HUEVOS DE POLLAS WHITE LEGHORN.

Periodo de privación de agua	*Cambios de peso. (Gramos diarios)*		*Producción de huevos. (Huevos en 6 días por polla)*	
	Experimental.	*Control.*	*Experimental.*	*Control.*
24 horas,	−48	+6	2.7	3.9
48 horas,	−97	−5	1.9	4.4
72 horas	(1)	(1)	1.5	3.6

(1) Las pérdidas de peso fueron de 10, 15 y 19% en el primero, segundo y tercer día de esta prueba. La recuperación para igualar a las pollas de control ocurrió durante la última parte de la prueba, cuando se les suministró agua.

PARA UNA MÁXIMA EFICIENCIA, el contenido de agua de los tejidos de los animales debe mantenerse dentro de límites normales. El agua se pierde continuamente en la orina y excrementos, así como por evaporación en las superficies del cuerpo. Por lo tanto, para mantener constante el agua de los tejidos, el total de agua disponible para cada animal debe ser igual a la producción de agua.

Los animales obtienen el agua en tres formas distintas: El agua que consumen libremente, la que contienen los alimentos y la que queda disponible durante los procesos metabólicos de los tejidos (agua metabólica). (Por cada libra de almidones, grasas o proteínas, respectivamente, que se oxidan en el cuerpo, se calcula que se producen, también respectivamente, 0.56, 1.07 y 0.40 libras de agua). El total de agua disponible de esos tres orígenes, cuando el animal se encuentra en un estado de equilibrio de agua, constituye su necesidad de agua. No debe confundirse esa necesidad de agua con el consumo de la misma, que sólo comprende el agua que se ingiere libremente. El consumo de agua se refiere ordinariamente al agua libre más la que contienen los alimentos.

La determinación de las necesidades de agua implica estudios detallados del total equilibrio de agua de todas las clases de animales bajo una gran variedad de condiciones alimenticias y de medios. Esos estudios se han llevado a cabo solamente para ciertas clases de ganado y bajo condiciones restringidas; pero esos estudios no nos permiten obtener conclusiones precisas que nos ayuden a establecer las necesidades de los animales de granja, debido a las variaciones individuales entre ellos y a los efectos variables de las raciones y niveles de producción.

MUCHOS FACTORES influencian el consumo de agua del ganado. En forma general, siguen muy de cerca el consumo de materias secas en los alimentos cuando los animales se encuentran bajo un régimen de alimentación seca. El ganado y los carneros beben de 3 a 4 libras de agua por cada libra de materia seca. Los cerdos, caballos y aves consumen de 2 a 3 libras de agua por cada libra de alimento seco. Esas proporciones y, por lo tanto, el consumo de agua, tienden también a ser más elevadas en alimentos de alto contenido de proteínas y en raciones que contienen una excesiva proporción de fibras.

Otra característica sobresaliente de los alimentos que afecta el consumo de agua es el contenido de agua de los alimentos mismos. Las variaciones en el consumo de agua debidas a este factor son más pronunciadas en el ganado y en los carneros. F. W. Atkeson y T. R. Warren, de South Dakota, descubrieron que las vacas sin leche a las que sólo se alimentaba con heno, consumían 93 libras de agua diarias, mientras que si se les alimentaba con heno y ensilaje, sólo consumían 74 libras diarias. Los carneros que se mantienen en buenos pastos casi no beben agua o lo hacen en muy poca cantidad, mientras que en pastos secos pueden consumir hasta 15 libras diarias. El consumo de agua del ganado disminuirá también si se le conserva en buenos pastos, pero no en la misma proporción que en los carneros.

El nivel de producción afecta también considerablemente el consumo de agua. El consumo total de agua de las reses alimentadas con raciones de subsistencia es en promedio de 36 libras, mientras que con raciones de engorda es aproximadamente de 72 libras diarias. Las vacas Holstein sin leche consumen, aproximadamente, 90 libras de agua al día, y cuando producen de 20 a 50 libras de leche diarias, pueden consumir hasta 160 libras diarias de agua. Las vacas que producen 80 libras diarias de leche beben hasta 190 libras de agua al día. Las ovejas que amamantan necesitan de 30 a 50% más agua que las demás. Una puerca puede consumir 38 libras de agua al día en la semana anterior al parto y 45 libras diarias en la semana que le sigue. Las puercas sin preñar consumen, aproximadamente, 20 libras de agua, y cuando tienen de 77 a 114 días de preñez, consumen, aproximadamente, 30 libras diarias. El consumo de agua de las pollas maduras es, aproximadamente, de 3 a 4 galones por cada 100 aves, y 100 gallinas ponedoras necesitan de 5 a 7 galones diarios.

EFECTOS DE LA TEMPERATURA EXTERNA EN EL CONSUMO DE AGUA

Cerdos	*Consumo de agua. Libras por hora por cerdo.*		
Temperatura (° F.)	*Cerdos de 75-125 lbs.*	*Cerdos de 275-380 lbs.*	*Puercas preñadas*
50	0.2	0.5	0.05
60	.25	.5	.85
70	.30	.65	.80
80	.30	.85	.95
90	.35	.65	.90
100	.60	.85	.80

Vacas lecheras	*Galones diarios por vaca.*		
Temperatura	*Jersey lactantes.*	*Holstein lactantes.*	*Holstein sin leche.*
50	11.4	18.7	10.4
50-70	12.8	21.7	11.5
75-85	14.7	21.2	12.3
90-100	20.1	19.9	10.7

Gallinas ponedoras.	*Mililitros diarios por ave*	
Temperatura.	*Leghorn blancas.*	*Rhode Island rojas.*
70	286	294
80	272	321
90	350	408
100	392	371
70	229	216
70	246	286

CONSUMO DE AGUA DE LOS CARNEROS.
(Libras de agua diarias.)
Condiciones.

En praderas o pastos secos	5.13
En praderas (alimentos salinos)	17
En raciones de heno y granos, o de heno, raíces y granos	0.3–6
En buenos pastos	Muy poca, si acaso

En estos experimentos, el agua estaba disponible para su consumo.

CONSUMO DE AGUA DE LOS MARRANOS.
(Libras de agua diarias.)
Condiciones.

Peso del cuerpo = 30 libras	5.10
Peso del cuerpo = 60-80 libras	7
Peso del cuerpo = 75-125 libras	16
Peso del cuerpo = 200-380 libras	12-30
Puercas preñadas	30-38
Puercas lactantes	40-50

CONSUMO DE AGUA DE LOS POLLOS.
(Galones diarios por 100 aves.)
Condiciones.

1-3 semanas de edad	0.4-2.0
3-6 semanas de edad	1.4-3.0
6-10 semanas de edad	3.0-4.0
9-13 semanas de edad	4.0-5.0
Pollas	3.0-4.0
Gallinas no ponedoras	5.0
Gallinas ponedoras (a temperaturas moderadas)	5.0-7.5
Gallinas ponedoras (a temperaturas de 90° F.)	9.0

CONSUMO DE AGUA DE LOS PAVOS EN DESARROLLO.
(Galones semanales por cada 100 aves.)
Condiciones.

1-3 semanas de edad	8-18
4-7 semanas de edad	26-59
9-13 semanas de edad	62-100
15-19 semanas de edad	117-118
21-26 semanas de edad	95-105

CONSUMO DE AGUA DEL GANADO.

Clase de ganado.	*Condiciones.*	*Consumo de agua (Libras diarias.)*
Terneras Holstein (dándoseles leche líquida o sólida y agua)	4 semanas de edad	10-12
	8 semanas de edad	13
	12 semanas de edad	18-20
	16 semanas de edad	25-28
	20 semanas de edad	32-36
	26 semanas de edad	33-48
Novillas lecheras	Preñadas	60-70
Reses,	Ración de subsistencia	35
	Ración de engorda	70
Ganado de pradera...		35-70
Vacas Jersey,	Producción de leche, 5-30 libras diarias	60-102
Vacas Holstein,	Producción de leche, 20-50 libras diarias	65-182
	Producción de leche, 80 libras diarias	190
	Sin leche	90

El otro factor principal que puede afectar el consumo de agua es la temperatura del medio ambiente. Se han hecho concienzudos estudios en las Estaciones Agrícolas Experimentales de California y Missouri sobre los efectos de la temperatura en el consumo de agua y las alteraciones fisiológicas relativas en el ganado lechero, cerdos y pollos. Los experimentos demostraron que a medida que aumenta la temperatura externa desde, aproximadamente, 50° hasta 100° F., la cantidad de humedad perdida por evaporación en las superficies del cuerpo aumenta también en forma constante. La pérdida de humedad por evaporación tiene como efecto el permitir al animal resistir mejor a los efectos de las temperaturas más elevadas, porque puede librarse en forma eficiente de grandes cantidades de calor.

Este mecanismo que permite perder calor llega a un alto grado de desarrollo en los caballos, que sudan abundantemente, y tiene un efecto limitado en la mayoría de los animales domésticos, que sudan menos. El incremento de la pérdida por evaporación, por otra parte, aumenta la necesidad de agua, a fin de conservar el equilibrio de agua en los tejidos.

En todos los experimentos, el consumo de agua aumentó a medida que se elevaba la temperatura. A las temperaturas más altas, sin embargo, no ocurrió aumento alguno en el consumo, el que declinó en algunos casos. A esas temperaturas disminuyeron tanto el consumo de alimentos como la producción de leche y de huevos, aumentando en cambio las temperaturas del cuerpo. Las observaciones indican que el aumento en el consumo de agua tiene su límite como medio de combatir las altas temperaturas ambientes.

Por lo tanto, vemos que la necesidad de agua del ganado fluctúa extensamente, y con especialidad las necesidades de los rumiantes, cuyas raciones pueden variar grandemente en su composición y contenido de agua.

Se dan datos sobre el consumo de agua del ganado y de las aves en las tablas que se encuentran al final de este capítulo. Las cifras que se dan para las aves y los cerdos serán aplicables generalmente y se aproximarán realmente a sus requisitos de agua, porque los alimentos que ordinariamente se les suministran contienen muy poca agua y no varían grandemente en su composición. Las cifras dadas para el ganado y los carneros cubren los requisitos máximos; pero como faltan los datos de consumo en pastos y praderas y como el contenido de agua de las diversas raciones varía grandemente, no pueden precisarse con exactitud las cantidades mínimas.

JOSEPH F. SYKES *es miembro de los servicios de Investigación Agrícola en la rama de investigaciones de la industria lechera, y fisiólogo y subjefe de la Sección de Nutrición y Fisiología.*

Las necesidades y usos del agua por las plantas

Leon Bernstein

LAS PLANTAS o las partes de ellas que crecen más rápidamente, contienen más agua que sólidos.

El agua no es un material inerte o de "relleno". El agua en las plantas, como en toda materia viviente, contribuye tanto a las propiedades esenciales de la vida como las más complejas proteínas, los compuestos grasosos, los carbohidratos y los minerales.

Mucha gente cree que la vida se inició en el mar. La relación primordial de la vida con el agua, por lo tanto, fue directa y relativamente sencilla. Cuando se desarrollaron las formas terrestres, las existencias de agua se convirtieron en un factor crítico y las plantas sufrieron cambios profundos en su estructura durante el largo proceso de adaptación para que pudieran vivir en la tierra.

La célula es la unidad de la materia viviente. La estructura de las plantas puede comprenderse solamente en términos de las células que las forman. Las células de las plantas son diferentes en tamaño, forma y composición, pero su estructura básica es muy semejante.

La célula ordinaria de las plantas tiene sólo alrededor de un milésimo de pulgada de diámetro.

UNA CÉLULA DE HOJA, como las que hay en el interior de las hojas de la mayoría de las especies de plantas, consiste de una pared exterior relativamente rígida y de su contenido. La pared de la célula rodea y está en íntimo contacto con el protoplasma, el fluido viscoso que constituye la materia viviente de la célula. Las paredes de la célula, que nos son familiares en forma de fibras naturales, tales como el algodón y el cáñamo, y en forma de agregados como la lana, consisten principalmente de carbohidratos complejos formados por la combinación de numerosas unidades de azúcar. Debido a su rigidez, la pared de la célula determina su forma. Un gran número de células que se adhieren en sus puntos

de contacto, determinan la forma y aspecto de la planta.

El protoplasma en el interior de la célula es químicamente muy complejo. Después del agua, son las proteínas las que más abundan, y más que cualquiera otra clase de las materias constituyentes, son responsables de las extraordinarias propiedades de la materia viviente. Las propiedades de las proteínas, que las convierten en el principal material de construcción de la materia viviente y de las substancias que rigen la mayoría de los procesos vitales, son realmente propiedades de soluciones de proteínas en agua. Puede explicarse esta diferencia comparando las propiedades obvias de una proteína, tal como la clara de huevo, en su estado natural y cuando está deshidratada.

El agua, las proteínas y los demás constituyentes del protoplasma, incluyendo las materias grasas, azúcares, sales y muchos otros derivados, forman así un sistema complejo del cual no puede omitirse parte alguna sin alterar fundamentalmente las potencialidades del protoplasma.

El protoplasma contiene cierto número de estructuras diferentes que rigen o efectúan ciertas funciones celulares específicas. El núcleo lleva los factores hereditarios o genes, que transmiten ciertas características de generación en generación y gobiernan el desarrollo de las células individuales de acuerdo con las potencialidades heredadas. En los tejidos verdes, los cloroplastidos (en los que se localiza el pigmento verde o clorofila) actúan como centros que absorben la energía de la luz para convertir el bióxido de carbono y el agua en azúcar.

Los protoplastos o unidades de protoplasma en una célula, contienen también uno o más vacuolos o gotitas de una solución acuosa de varias sales, azúcares y otras substancias, rodeadas completamente de protoplasma. En la relación de agua de las células, cada parte, las paredes, el protoplasma y el vacuolo, tiene una función necesaria y diferente. La pared de la célula permite el libre paso del agua y la mayoría de las substancias disueltas en ella, pero el protoplasma limita el paso de estas últimas.

Antes de que podamos considerar la forma en que las propiedades distintivas de la pared de la célula y del protoplasma rigen las relaciones de agua de la célula, debemos saber algo sobre las propiedades de las soluciones.

LAS PARTÍCULAS que componen las materias sólidas ocupan posiciones relativamente fijas, pero las partículas de gases, líquidos y sólidos en solución se mueven libremente y al azar. Por lo tanto, todas las partes de una solución tienden a quedar igualmente concentradas. Pongamos un ejemplo: Un terrón de azúcar que se ponga en un vaso con agua, se disuelve en ella y las partículas de azúcar comienzan a dispersarse en el agua a medida que se desprenden del terrón.

Como resultado final de este proceso de difusión, el número de partículas de azúcar en cualquier volumen determinado de agua en cualquier parte del vaso eventualmente es igual, La difusión afecta al agua en el vaso así como al azúcar, y en igual forma las partículas de agua tienden a quedar uniformemente distribuidas en el vaso como resultado de su movimiento al azar.

Consideremos ahora una sola célula de planta sumergida en una gotita de agua de lluvia.

El agua que baña la célula contiene muy poco material disuelto. El agua dentro de la célula contiene azúcares, sales y varios compuestos en solución. Los materiales disueltos tienden a salir de la célula y el agua a penetrar en ella mediante el proceso de difusión, y cada substancia tiende a obtener una concentración uniforme en el sistema de gotita de agua-célula. Sin embargo, el protoplasma restringe el movimiento de la mayoría de las substancias disueltas mucho más que el del agua, así que en realidad el agua penetra a la célula mientras que las sustancias disueltas en ella quedan en su mayoría dentro de la misma. El agua se acumula en el vacuolo de la célula y produce una presión que fuerza el protoplasma contra la pared de la célula y la mantiene totalmente distendida. Se dice que una célula en estas condiciones está túrgida. La presión de difusión del agua en la célula, que es índice de la tendencia del agua para salir de ella, aumenta a medida que aumenta la turgidez de la

célula. En el punto de equilibrio la turgidez de la célula aumenta la presión de difusión del agua en la misma en forma suficiente para compensar la menor concentración de agua debida a la presencia de substancias disueltas.

Si se reemplaza la gotita de agua de lluvia por una solución moderadamente concentrada de azúcar o sal (de manera que el agua sea más abundante en proporción a las substancias disueltas dentro de la célula que fuera de ella), el agua comienza a salir de la célula. La presión dentro de ella disminuye, y si continúa el movimiento del agua hacia afuera, la célula pierde su turgidez y se vuelve flácida. Se llama ósmosis al movimiento del agua a través de una membrana semejante al protoplasma, que es más permeable al agua que a las substancias disueltas en ella.

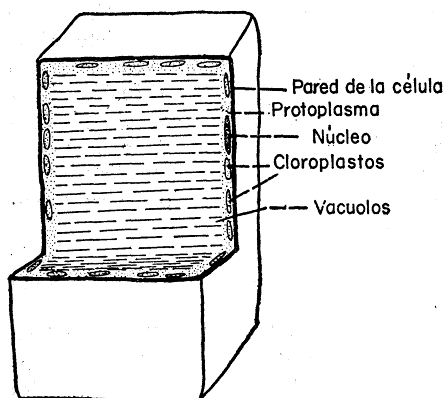


Diagrama de la célula de una hoja, parte de la cual se ha cortado para mostrar las relaciones que existen entre la pared de la célula, el protoplasma y el vacuolo.

La base para el movimiento osmótico del agua es la diferencia de permeabilidad del protoplasma al agua y a las substancias que se encuentran en solución en ella. Si el protoplasma se daña o muere debido al calor excesivo o a algún veneno, pierde su propiedad de permeabilidad diferencial y las substancias disueltas escapan de la célula. Un trozo de tejido de remolacha roja pierde muy poco de su pigmento rojo soluble en el agua si se le sumerge en agua de la llave; pero si el agua se calienta a una temperatura suficiente para dañar o matar las células de la remolacha o si se le agrega algún veneno, el pigmento rojo se difunde rápidamente en el agua y el tejido se vuelve flácido a medida que pierde su capacidad para retener las substancias disueltas.

Las células de las plantas tienden a absorber agua mediante otro proceso que es característico de muchas substancias finamente divididas o dispersadas. Las grandes superficies expuestas de esas sustancias atraen fuertemente al agua y la retienen con fuerza considerable. Las proteínas y carbohidratos, tales como la celulosa de la pared de la célula, representan una elevada proporción de los sólidos en las células de las plantas y la fuerza de atracción que ejercen retiene una parte del agua de la célula. La madera seca, que en gran parte se compone de celulosa, absorbe el agua y se hincha o tuerce. El proceso de absorción de agua por esos materiales se llama imbibición y es responsable, en gran parte, del consumo inicial de agua por las semillas secas.

Podemos apreciar ahora más completamente la ventajosa posición de las plantas acuáticas con relación a su suministro de agua. Los protoplastos sólo necesitan conservar su capacidad de retener las substancias disueltas que la célula produce o absorbe, y las células de la planta obtendrán el agua mediante una sencilla difusión u ósmosis (si el medio que las baña no está demasiado concentrado).

Con el desarrollo de formas terrestres, las partes de las plantas que quedan expuestas al aire se volvieron susceptibles a la desecación causada por la evaporación del agua de la célula. Se llama transpiración a la pérdida por evaporación del agua de las plantas, y la mayor parte del agua absorbida por las raíces de una planta se pierde por transpiración.

Ordinariamente encontramos de 5 a 10 libras de agua por cada libra de materia seca en una planta, pero ésta debe absorber varios cientos de libras de agua por cada libra de materia seca que produzca. La diferencia entre las 5 ó 10

libras y los varios cientos de libras de agua, representa la pérdida de agua por transpiración. En contraste, la planta acuática tiene que absorber solamente el agua necesaria para su crecimiento, es decir, las 10 libras más o menos por libra de materia seca que constituye el cuerpo de la planta. Es evidente, por lo tanto, que las plantas terrestres tienen que contar con medios eficientes para la absorción del agua, para su distribución a través de ellas y para controlar hasta donde sea posible la pérdida de agua.

LAS CARACTERÍSTICAS de las plantas terrestres que han hecho posible su supervivencia y extenso desarrollo en un medio tan exigente con relación a los suministros de agua, se representan en el dibujo de la página 24. Como la mayor parte del agua utilizada por las plantas terrestres debe absorberse de la tierra en la que crecen, sus sistemas de raíces necesitan estar extensamente desarrollados. Las partes subterráneas de la mayoría de las plantas terrestres penetran un volumen de tierra tan grande como el espacio que ocupan las partes que se encuentran sobre la superficie de la tierra, o aun mayor, y el sistema de raíces finamente divididas presenta una enorme área superficial para la absorción del agua. Esa gran superficie de absorción se incrementa con el crecimiento de un gran número de delgadas fibras en las raíces tiernas. El largo total de las raíces producidas por una sola planta gramínea, tal como el trigo, puede ser de varias millas, y los muchos millones de las fibras de las raíces pueden aumentar hasta en diez veces o más la ya extensa superficie de absorción.

La conducción de agua se facilita mediante el desarrollo de células especializadas y grandemente alargadas en las raíces, tallos y hojas de las plantas terrestres. Después de que han crecido las células, los protoplastos se degeneran y desaparecen, dejando un tubo largo y hueco o traqueida que presenta un mínimo de resistencia al movimiento del agua. En muchas especies las paredes de los extremos de las células se digieren a medida que éstas se maduran, disminuyendo así aún más la resistencia al flujo del agua. Esas unidades se llaman vasos, y éstos, las traqueidas y las células que permanecen vivas forman el tejido de xilema o madera que se desarrolla más extensamente en las plantas leñosas.

La xilema proporciona un sistema continuo de tubos huecos desde cerca de los extremos de las raíces, a través de ellas y del tallo, hasta las hojas, en donde forma parte de la red de venas de las hojas que nos son tan familiares. El tejido leñoso de los troncos y raíces desempeña también otras funciones en una planta terrestre, especialmente las de anclarla y darle un apoyo mecánico. La adaptación a un medio terrestre ha resultado en la modificación del cuerpo de la planta con respecto a muchas otras características, y la discusión de la relación de agua no significa restarle importancia a las demás características.

Las hojas de las plantas son típicas estructuras planas que presentan una superficie máxima para la absorción de la energía de la luz y el intercambio de gases con el medio ambiente. Son estas condiciones necesarias para la fotosíntesis, o sea el proceso por el cual el tejido verde de las plantas produce azúcares del bióxido de carbono absorbido del aire y del agua obtenida de la tierra. En ese proceso se produce también oxígeno.

Una hoja está construida de un gran número de tipos de células especializadas. El interior de la hoja consiste en gran parte de las células verdes que contienen cloroplástidos y que se encuentran ampliamente esparcidas, con espacios de aire continuos pero irregulares entre ellas. Esos espacios se comunican unos con otros y conducen a la atmósfera exterior a través de un gran número de diminutos poros o estomas en la superficie de la hoja. Así, a medida que las células verdes absorben bióxido de carbono, penetra mayor cantidad de este gas a la hoja, por difusión del aire circundante, mientras que el oxígeno producido por la célula se escapa de la hoja mediante el mismo proceso. Las paredes de la célula dentro de la hoja quedan saturadas de agua que se evapora de su superficie y se difunde también en el aire circundante. La mayor parte del agua que pierde la planta pasa a través de los estomas como vapor de agua por transpiración.

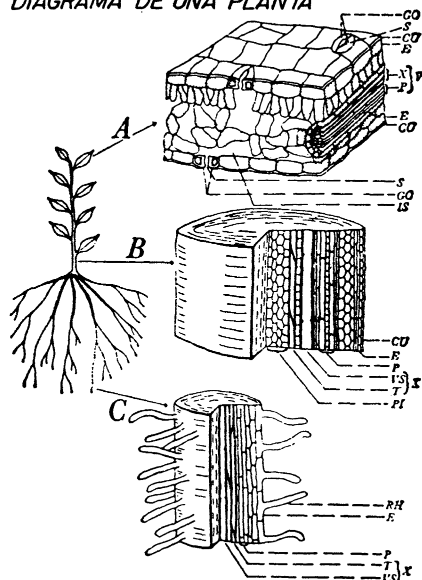


Diagrama de una planta. Diagrama que muestra las relaciones de las partes de una planta que tienen que ver con la absorción, conducción, conservación y pérdida del agua. *A* es una porción aumentada de una hoja, que se ha cortado para mostrar su estructura interna; *B*, segmento aumentado del tallo; *C*, segmento aumentado de una raíz tierna, habiéndose removido algunos sectores para mostrar las células en su interior. *GC* es una célula guardiana; *S*, estomas; *CU*, cutícula; *E*, célula epidérmica; *X*, xilema; *F*, floema; *V*, vena; *IS*, espacio intracelular; *VS*, vaso; *T*, traqueida; *PI*, médula; *H*, vello de la raíz.

La planta tiene que conservar el agua, pero no puede excluir completamente el aire circundante, con el que debe mantener un intercambio necesario de gases. La transpiración, sin embargo, queda restringida por la presencia de una cubierta encerada o cutícula en la superficie exterior de las hojas y tallos tiernos. A través de esa cutícula se pierde relativamente poca agua. En tallos más viejos y leñosos cuyo crecimiento diametral produce la ruptura de la cutícula, la pérdida de agua queda controlada por el desarrollo de una capa de células de corcho cuyas gruesas paredes impermeables restringen las pérdidas de agua. Las pequeñas áreas de células esponjosas distanciadas unas de otras, o lenticélulas, permiten el intercambio gaseoso a través de la capa de corcho o corteza exterior.

Las células guardianas o pares de células especializadas, se asocian con los estomas. El poro o estoma es el espacio que existe entre cada par de células guardianas, y si éstas se encuentran completamente túrgidas, el estoma se abre en toda su extensión. A medida que las células guardianas pierden su turgidez, se aproximan una a otra y cierran los estomas. Estos movimientos de las células guardianas que controlan la abertura de los estomas, se deben al grueso diferencial de las paredes de las células. Las paredes que se encuentran próximas a los estomas ordinariamente son más gruesas que las del lado opuesto de las células guardianas, y el aumento en turgidez fuerza hacia afuera las paredes delgadas y aparta las dos células guardianas, abriendo el estoma. Si la hoja pierde agua más rápidamente de lo que puede reponerla, las células de la misma se vuelven menos túrgidas, y a medida que las células guardianas pierden esa turgidez comienzan a cerrarse, disminuyendo eventualmente la pérdida de agua mediante la oclusión de los estomas.

El movimiento de las células guardianas depende también de la luz. La fotosíntesis se inicia en presencia de la luz, y esto disminuye la acidez de las células guardianas y favorece la conversión del almidón en azúcar. El aumento en azúcar es consecuencia de este proceso y aumenta la absorción de agua de las células adyacentes, lo que a su vez aumenta su turgidez y hace que se abran los estomas. Estos procesos se invierten en la oscuridad. La respiración produce bióxido de carbono y los azúcares se convierten en almidones insolubles en los cloroplástidos. Esos cambios disminuyen el contenido de azúcar de las células guardianas, cuya agua pasa a las células adyacentes y los estomas se cierran.

Como la mayor parte del agua que absorben las plantas terrestres se pierde por transpiración, la proporción del consumo de agua tiene que depender en gran parte de la proporción de transpiración. Los procedimientos mecánicos que rigen estas relaciones son bastante sencillos. Algunas de las células de la hoja quedan directa-

mente en contacto con los elementos conductores de agua de las venas de las hojas. Otros tienen contacto indirecto a través de otra célula. Cuando el agua se pierde por transpiración, la turgidez de las células de la hoja disminuye y tienden con mayor fuerza a absorber agua de los tejidos que la conducen, por lo que la pérdida de agua de la hoja significa que llega más agua a ellla, lo que a su vez hace que se mueva más agua a lo largo de los elementos que la conducen desde las células de las raíces, aumentando así la intensidad de la absorción del agua por las células de las raíces que se encuentran en contacto con la humedad de la tierra. Por lo tanto, todo el proceso es una reacción en cadena en la cual el elemento regulador es la proporción de agua perdida por transpiración.

De acuerdo con esta teoría, el agua en los elementos de la xilema debe estar bajo tensión a causa de la succión que ejercen las células de la hoja, lo que se ha demostrado abriendo las células de la xilema del tallo mientras se sumerge la parte que se corta en una solución coloreada. El movimiento parecido a relámpago del colorante en los elementos de la xilema cortada, confirma la teoría de que el agua en esos elementos está realmente bajo tensión cuando la transpiración es muy rápida. Por otra parte, cuando la transpiración es muy lenta y la humedad de la tierra es adecuada, pueden producirse presiones positivas bastante apreciables en los elementos de la xilema. En estas condiciones, el corte de la xilema produce una "sangría". El volumen de agua que queda a disposición de las plantas con ese proceso, sin embargo, es pequeño si se le compara con los volúmenes que se pierden durante la transpiración rápida.

COMO LA TRANSPIRACIÓN es el proceso clave de la utilización del agua por las plantas, los factores que lo rigen son muy importantes. La transpiración comprende la evaporación de agua en los espacios de aire de las hojas y su difusión hacia afuera en la atmósfera circundante. Dentro de la hoja, los espacios de aire están casi completamente saturados de vapor de agua, y la difusión al aire circundante, que ocurre primordialmente a través de los estomas, es proporcional a la diferencia de concentración del vapor de agua entre los espacios de la hoja y el aire que la rodea. Por lo tanto, si los demás factores son iguales, mientras menor sea el contenido de vapor de agua del aire o su humedad relativa, será más rápida la transpiración de agua.

A medida que las hojas absorben la radiación solar, tienden a volverse más calientes que el aire, siendo con frecuencia esa diferencia de temperatura hasta de 5 a 10° F. La cantidad de agua que puede existir en el aire saturado, aumenta a medida que se eleva la temperatura. Por lo tanto, el calentamiento de la hoja por los rayos solares aumenta la concentración de vapor de agua en la misma y facilita la pérdida de agua más rápida.

No es sorprendente, por lo tanto, que la proporción de transpiración siga un ciclo diario que tiende a ser paralelo a la intensidad de la luz. Desde luego se pierde de mayor cantidad de agua durante las horas de luz, y la proporción de esa pérdida es más rápida a mediados del día.

La transpiración tiende a aumentar la concentración del vapor de agua en el aire que rodea las hojas, lo que a su vez tendería a disminuir aún más la pérdida de agua de la planta. Las corrientes de aire contrarrestan esa tendencia al disipar el vapor de agua acumulado.

LA TRANSPIRACIÓN continua sólo es posible si la planta tiene un continuo suministro de humedad disponible. Si ese suministro se agota o si la pérdida de agua excede de la proporción de consumo de agua, la planta eventualmente se marchita, los estomas se cierran y se impide la transpiración. Aunque ese control de la planta puede evitar o demorar que se produzcan serios daños o aun la muerte, esto no puede hacerse sin consecuencias para la planta. La turgidez o estado distendido de las células de las plantas, es necesaria para el continuo crecimiento de las mismas, y una disminución de esa turgidez, o marchitamiento, se refleja en el retraso o inhibición del mismo crecimiento.

Una planta gravemente marchita cuyos estomas estén cerrados no puede con-

tinuar eficazmente el proceso de fotosíntesis, porque se dificulta el necesario intercambio de gases con el aire circundante. El agua es también una de las materias primas en la fotosíntesis, ya que es la substancia en la que actúa la luz para producir hidrógeno, reacción básica en la fotosíntesis. Sin embargo, las cantidades de agua empleadas en ese proceso son pequeñas si se les compara con las pérdidas, y aun en una planta gravemente marchita, la disminución de la fotosíntesis es consecuencia de las escasas existencias de bióxido de carbono o de daños al protoplasma como resultado de la desecación, más bien que de deficiencia de agua como materia prima del proceso de fotosíntesis.

Aunque la transpiración excesiva puede dañar las plantas y disminuir su rendimiento, puede hacerse muy poco para regularla bajo condiciones de campo, porque los factores, tales como temperatura, luz y viento, son muy difíciles de modificar.

Podemos, sin embargo, intentar mantener un suministro adecuado de agua para la planta proporcionando aquellas condiciones de la tierra que permitan un máximo desarrollo y actividad de sus raíces. Un sistema de raíces sano y activo y un suministro adecuado de agua son las únicas soluciones prácticas al problema de la transpiración.

Aunque la transpiración parece ser un mal inevitable en el funcionamiento de las plantas, algunos de sus efectos tienden a ser benéficos. Las plantas funcionan mejor a una gama de temperaturas relativamente estrecha, y las temperaturas excesivamente altas pueden serles dañinas o fatales. Como la transpiración enfría los tejidos de las plantas, especialmente las hojas, contribuye al control de la temperatura. Sin embargo, hay otros procesos físicos, tales como la conducción y la rerradiación del calor, que son ordinariamente más eficaces que la transpiración para enfriar las hojas.

En las formas superiores de vida de plantas, ciertas funciones quedan restringidas casi en su totalidad a órganos específicos que se modifican para llevar a cabo esas funciones del modo más eficiente. Las raíces absorben el agua y los minerales que necesita toda la planta. Las hojas fabrican alimentos. El tallo sostiene todo el conjunto en la posición que es más favorable a sus partes componentes, y es de importancia primordial el movimiento de los materiales que se originan o que se absorben por un órgano especial cuando se necesitan en otras partes de la planta.

El agua es esencial para toda transportación en las plantas, ya que los materiales transportados se mueven en forma de soluciones. El azúcar y otros compuestos complejos se mueven hacia abajo desde las hojas, en las que se sintetizan, hacia el tallo y las raíces en el tejido de la corteza, conocido como floema. Los minerales se mueven principalmente en la xilema o elementos leñosos, en los que se transportan hacia arriba, desde las raíces, al tallo y a las hojas. Al acelerar el movimiento de la corriente de agua en la xilema, la transpiración tiende a apresurar la transportación de materiales, aunque esto es de dudoso valor, porque el suministro de minerales a las hojas es adecuado aun cuando la proporción de transpiración sea baja.

AUN LAS ESTRUCTURAS altamente especializadas características de las plantas de las regiones húmedas, no serían suficientes para asegurar su crecimiento en regiones áridas o subáridas. En ellas la vegetación nativa ha sufrido modificaciones adicionales que le permitan sobrevivir. Algunas especies, bastante semejantes a las de las regiones húmedas, son anuales, que completan su ciclo vital en un corto periodo y pueden utilizar con ventaja las escasas lluvias de ciertas regiones. La abundante floración de las plantas en algunos desiertos después de las lluvias de primavera se deben a ellas. Después de ese brote de vida las plantas mueren y sólo quedan las semillas para propagar las especies el año siguiente.

En las plantas que sobreviven todo el año, ciertas profundas modificaciones en sus cuerpos las protegen contra la desecación en los meses de sequía. Las hojas se reducen de modo característico a apéndices escamosos o espinosos que pueden desaparecer por completo. El tallo desempeña las funciones de las hojas y esta

reducción de la superficie expuesta disminuye la transpiración.

Puede producirse una reducción adicional en la superficie mediante el aumento del diámetro de los tallos, como ocurre en los cuerpos cilíndricos o globulares de los cactos, cuyos tallos carnosos almacenan grandes cantidades de agua. Sus células son ricas en mucílagos, gomas y otras substancias que tienen gran afinidad para el agua.

Otras formas de plantas, tales como los arbustos y las hierbas, sobreviven sin necesidad de esas obvias modificaciones en su estructura, pudiendo tener sistemas de raíces extensos y bien desarrollados y un crecimiento superficial relativamente limitado. Esto permite un mayor sistema de absorción de agua en relación con la superficie de transpiración. Ordinariamente, los arbustos tienen hojas pequeñas, y en algunas especies un abundante crecimiento de vellos protege los estomas y a veces disminuye la evaporación al retrasar la pérdida de vapor de la superficie de la planta.

Las hileras de células especializadas en la epidermis superior de muchas hierbas, son muy sensibles a los escasos suministros de agua. A medida que las células pierden su turgidez, hacen que toda la hoja se enrolle hacia arriba, protegiendo los estomas y disminuyendo toda transpiración ulterior. Pueden producirse cutículas más gruesas y a menudo los estomas están hundidos, quedando las células guardianas más abajo de la superficie de la hoja.

LA EFICACIA de las modificaciones depende del hecho de que en toda la cadena de procesos que rigen el movimiento del agua dentro, fuera y a través de la planta, las mayores presiones que controlan ese flujo son aquellas que rigen el movimiento del agua desde los espacios de aire en la planta hasta la atmósfera circundante. Las presiones que rigen la difusión del vapor de agua fuera de las hojas, aun en aire moderadamente húmedo, tienden a ser aproximadamente cien veces mayores que las que rigen el movimiento del agua dentro y a través de la planta. Se obtiene más fácilmente un control eficaz de la transpiración mediante un bloqueo parcial del trayecto a lo largo del cual ocurre la difusión a la atmósfera exterior.

Es aparente, por lo tanto, que las plantas han sufrido diversos ajustes como solución a la supervivencia en ambientes secos. Sin tener en cuenta la naturaleza de las modificaciones de estructura y función, esas plantas se caracterizan generalmente por un crecimiento limitado, especialmente de aquellas partes que están sobre la superficie de la tierra. Ordinariamente puede obtenerse un notable incremento del crecimiento y rendimientos si se suministra agua en mayor cantidad.

LEON BERNSTEIN *es un fisiólogo de plantas que estuvo anteriormente al servicio del Laboratorio de Plantas, Tierras y Nutrición de los Estados Unidos de Norteamérica en Ithaca, New York, siendo luego investigador de la Universidad de Chicago, formando después parte del Laboratorio de Salinidad en Riverside, California.*

El agua y los microorganismos

Paul R .Miller y Francis E. Clark

SIN AGUA no habría microorganismos, esas miriadas de diminutas formas de vida cuyos cuerpos consisten principalmente de agua, en la cual están combinadas o disueltas otras sustancias vitales.

Casi toda la materia es un substrato o base en la cual algunas de esas formas microscópicas puede alimentarse y crecer. Algunos de los organismos son benéficos y otros causan grandes daños. Algunos crecen en el agua y otros en la tierra; algunos viven en materias vegetales o animales, vivas, muertas o en descomposición.

Algunos de ellos, los microorganismos patógenos, pueden invadir los tejidos de las plantas, animales o seres humanos vivientes, en los que causan enfermedades.

Trataremos primeramente las necesidades de agua de un grupo de microorganismos, los hongos, y gran parte de esta

discusión se dedicará a los hongos patógenos de las plantas.

Los hongos son extraordinariamente importantes para la humanidad, y pueden ser benéficos o perjudiciales. Los antibióticos, que han ayudado al tratamiento de las enfermedades, son en su mayoría productos del crecimiento de los hongos. La penicilina, por ejemplo, se produce por algunas clases del hongo común de la lama azul, *Penicillium;* pero los hongos son responsables de muchas graves enfermedades de las plantas, y mientras más sepamos sobre los factores que afectan el crecimiento de los hongos, incluyendo sus relaciones con el agua, podremos utilizar mejor las formas benéficas y controlar de manera más eficaz aquellas que son perjudiciales.

En uno o más de los periodos decisivos en los procesos vitales de los hongos que habitan en la tierra, así como de los que habitan en el agua, ésta es vital en algunas de sus formas para su desarrollo ulterior. La cantidad de agua necesaria en cualquier tiempo y su forma de actuar varía de acuerdo con cada hongo. Ocurre también a menudo que la cantidad requerida por un mismo hongo no es constante, sino que depende en cierto grado de otros factores, especialmente de la temperatura.

Estas etapas críticas pueden incluir la liberación de los esporos, que son las estructuras reproductoras de los tallos en los que se producen o de los receptáculos en los que se forman, así como la dispersión real de los esporos a lugares cercanos o lejanos, la caída de esos esporos en substratos adecuados o plantas huéspedes, su germinación para renovar el ciclo vital, y finalmente el crecimiento del hongo en su substrato o en su huésped. Cuando en cada una de esas etapas ocurren las condiciones requeridas de humedad, los hongos patógenos pueden iniciar destructoras epidemias.

Puede obtenerse el agua necesaria del agua libre (es decir, en forma líquida), ya sea en forma de lluvia o rocío, de la niebla o del agua que se encuentra en la tierra. Igualmente, el aire contiene en todo tiempo agua en estado gaseoso en cantidades que pueden medirse y expresarse en términos de humedad relativa. El aire en reposo que rodea a una planta, aun en un día seco, puede ser mucho más húmedo que el resto de la atmósfera, porque la evaporación de las hojas eleva la humedad en un espacio limitado.

El agua actúa en muchas formas para la liberación de esporos. A veces es necesaria el agua libre de las lluvias, los rocíos o los riegos. El agua en grandes gotas o la que arrastra el viento, desaloja los esporos de sus tallos o de la capa que los rodea. Los esporos de verano o conidias del hongo de la escama del manzano *(Venturia inaequalis),* se arrancan de sus tallos (conidióforos) por las lluvias esparcidas por los vientos. Brotan nubes de esporos de las esferas que los contienen cuando las grandes gotas de lluvia pegan en la delgada cubierta exterior con fuerza suficiente para comprimir el cuerpo fructificante. Los esporos del hongo de la plaga del castaño, *(Endothia parasitica),* sólo se liberan durante las lluvias y únicamente mientras la corteza del árbol permanece húmeda. Algunos de los hongos de la lama lanosa necesitan que los conidióforos que salen de una hoja infectada queden cubiertos por el rocío para que ocurra una abundante formación de esporos.

El agua no siempre necesita estar en forma líquida. A menudo una atmósfera húmeda es suficiente, y en algunos de los hongos de las lamas lanosas, la expansión y contracción alternadas, controladas por un mecanismo higrométrico, liberan las conidias de los conidióforos ramificados que se enrollan hacia arriba o que se desenrollan, dependiendo de la sequía o humedad del aire.

Los hongos utilizan el agua en otras formas características para producir y liberar sus esporos.

Un ejemplo interesante es el de un hongo que ocurre comúnmente en cierto número de hierbas. Desde sus estromas (o crecimiento denso y compacto), en un tallo cortado de hierba, pueden liberarse los esporos durante días enteros si el extremo cortado de la hierba se mantiene en agua de modo que no se estorbe la corriente de transpiración (absorción de agua) de la hierba y se suministre humedad al hongo.

Otro hongo puede descargar sus esporos durante periodos de sequía consumiendo sólo el agua almacenada dentro de su propio tejido estromático. Otros más dependen de las reservas de agua de sus huéspedes.

Una notable variedad de hongo produce estructuras aéreas, tanto en la atmósfera húmeda como en la seca, mediante un método especial de conservación. Sus cápsulas de esporos tienen una pared que retrasa la pérdida de agua debida a la evaporación. Además, el hongo cuenta con un sistema eficaz para la conducción de agua por medio de amplias ramificaciones sin muros de separación.

Sin embargo, la humedad no siempre es necesaria para la liberación de esporos. En los llamados hongos de esporos secos, la carencia total de humedad ayuda a la liberación de los mismos.

Cuando la masa de esporos, o esporangio, de la lama negra común del pan queda expuesta al aire seco, la cubierta exterior se destruye y deja escapar una masa de esporos secos en forma de polvo que esparce el viento.

El hongo *Penicillium* pertenece a otro grupo, en el cual los esporos descienden lentamente en el aire seco, ocurriendo una contaminación de la lama azul si llegan a caer en alimentos descubiertos o en los discos de cultivo de un laboratorio.

El agua no es el único agente en la dispersión de esporos, tomando parte en ella las corrientes de aire, insectos, animales y algunos otros medios. El agua, sin embargo, es agente común y a menudo ocupa el puesto principal.

En los hongos de nido de pájaro *(Crucibulum* y *Cyathus),* el agua que salpica las copas portadoras de esporos a menudo vuelve a caer, y sus gotas transportan los cuerpos en forma de huevo que contienen los esporos.

En algunos hongos, cuando los esporos están secos, quedan firmemente sujetos al substrato por una especie de mucílago que los cubre. Las gotas de lluvia mojan la superficie y hacen que se hinche el mucílago, forzando los esporos fuera de sus cubiertas y dejando que floten libremente en la superficie de una capa de agua. Las gotas de agua subsecuentes remueven esos esporos libres y los llevan a otras partes.

El agua de las lluvias que se filtra en la tierra arrastra esporos de muchas clases de hongos hasta su interior, pudiendo así los hongos patógenos quedar en situación de atacar las raíces y tallos subterráneos. La lluvia que escurre sobre la superficie de los troncos de los árboles esparce ciertas etapas de esporos, tales como los del hongo de la plaga del castaño. El movimiento del agua superficial, tal como el agua de riego, el agua sobrante de la erosión, los desagües de las lagunas o arroyos o la corriente de un torrente, puede transportar también las masas de esporos.

Otro tipo de dispersión utiliza el agua escondida, o sea la que existe en los contenidos de las células. La descarga y dispersión de esporos comprende principalmente la destrucción de las células túrgidas o hinchadas, ya que es necesaria el agua en alguna forma para producir y conservar esa turgidez.

Los numerosos medios que permiten efectuar este tipo de dispersión, sugieren las actividades de un "micro-arsenal" de hongos, regido estrictamente por las leyes de la física y de la gravedad, accionado por su susceptibilidad a la luz y que se adhiere a los principios de vuelo. Los mecanismos son eficientes y a menudo capaces de una acción sostenida y repetida. El lanzamiento de esporos de un cuerpo fructificante túrgido se efectúa mediante el rompimiento de la pared de la célula que ha quedado tensa por la presión hidrostática generada en su interior. Las gotas de líquido bajo presión quedan encerradas dentro de un cuerpo sumamente tenso y que tiene ordinariamente una forma esférica. La ruptura puede ser explosiva, proyectándose entonces los esporos del cuerpo fructificante como desde una catapulta.

Hay otros tipos de escape igualmente eficientes y a menudo espectaculares para liberar los esporos. Estos se dispersan en formas de nubes o chorros de masa de esporos o en filamentos parecidos a tentáculos, y pueden ser lanzados aisladamente o en pequeños grupos. Los cuerpos fructificantes se abren, ya sea en forma de largos picos, con diminutas cubiertas de

charnela, o mediante la ruptura de las células extremadamente túrgidas a lo largo de una línea más débil en la pared de la célula. En un grupo de hongos los cuerpos fructificantes se voltean completamente al revés debido a la presión de una membrana interna.

¿Cómo caen, renuevan sus ciclos, y en el caso de los hongos patógenos, cómo producen enfermedades de las plantas los hongos que flotan en el aire o que transportan los vientos?

La caída de los esporos que se encuentran presentes en el aire a substratos adecuados, se efectúa de varios modos. Un esporo que flota en las corrientes de aire o que los vientos transportan, puede adherirse a un objeto estacionario que se encuentra en su camino. Los esporos se depositan en una gran variedad de superficies durante el curso de su transportación hacia arriba, abajo o a los lados, durante la mezcla irregular de las grandes y pequeñas masas de aire llamadas remolinos; al caer por gravedad desde el aire en calma; durante el intercambio de aire en la capa que se encuentra entre zonas turbulentas de aire y zonas de aire en calma, y por la acción de las lluvias.

Probablemente la lluvia es la que deposita mayores cantidades de esporos de los hongos, de esporos pequeños, en la tierra. Mientras se mantienen en alto en el aire turbulento, pueden flotar sobre los objetos sólidos, a menos que los recojan las gotas de lluvia y los lleven a la tierra. Las gotas naturales de lluvia tienen la mayor eficiencia de recolección en la mayoría de los esporos. Sin embargo, tratándose del gran número de parásitos de las hojas y tallos, las gotas de lluvia no son eficaces para conducir los esporos a substratos adecuados para su germinación y crecimiento, y entonces actúa uno u otro de los métodos que hemos mencionado.

La germinación comienza y continúa después que los esporos han caído en un sitio adecuado bajo condiciones favorables. Generalmente la temperatura y la humedad deben estar en equilibrio, especialmente en los pequeños espacios alrededor de la planta en los que caen los esporos.

Muchos hongos necesitan capas fluidas de agua para su germinación, mientras que otros pueden germinar en el agua o en una atmósfera húmeda.

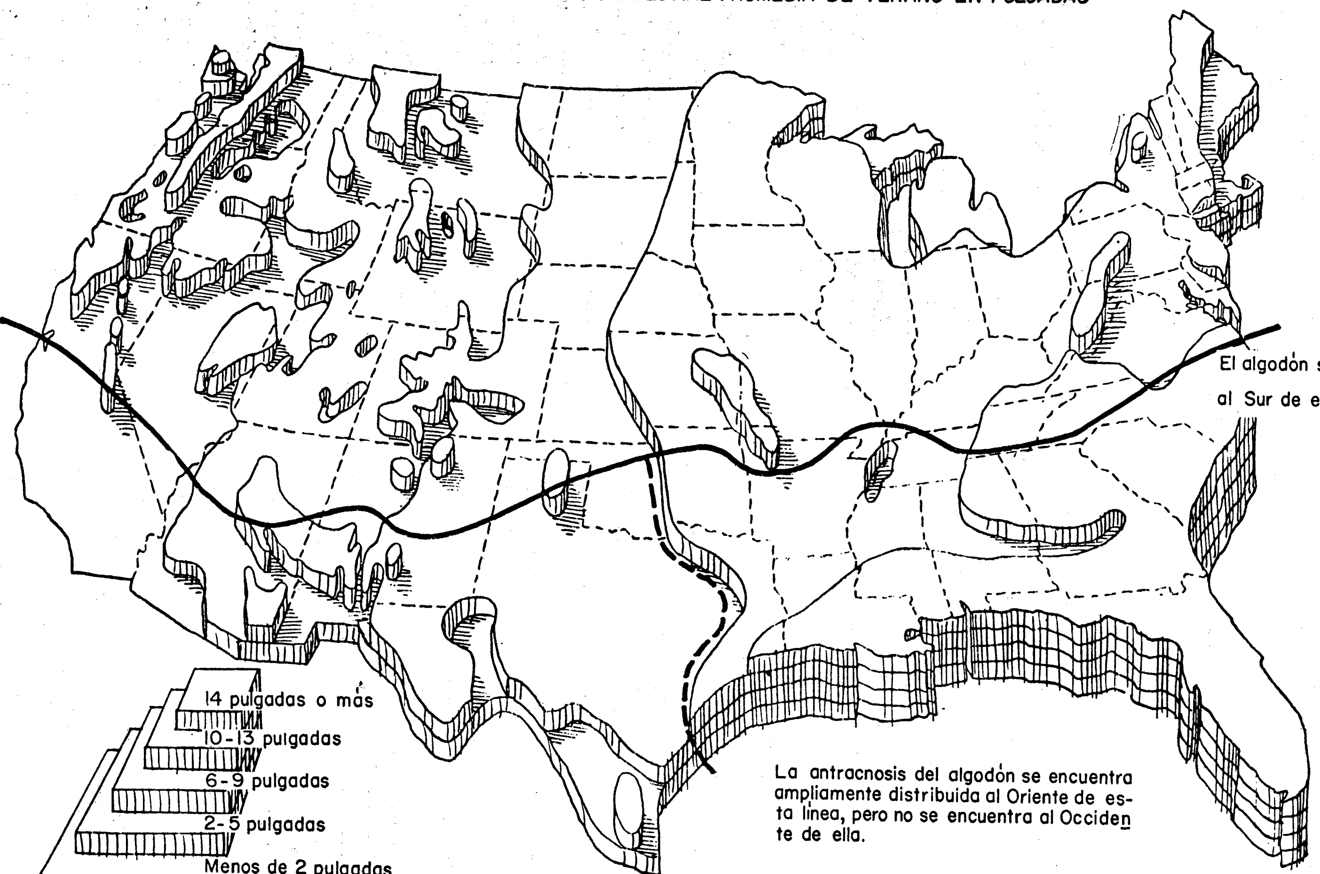
Aun cuando el aire que nos rodea parece a veces muy seco, puede haber suficiente humedad para la germinación de la planta. Esto sucede en donde la temperatura de la superficie de la hoja es más baja que la del aire circundante, condensándose la humedad del aire en las hojas. Ocurre también a veces que el rocío permanece en la superficie de las hojas durante varias horas al día, cuando el movimiento de aire es demasiado leve o la luz solar no es lo suficientemente intensa para causar su evaporación. Finalmente, aun cuando la humedad no sea especialmente favorable, la germinación puede ocurrir en el aire en reposo, debido probablemente a la estimulación de algún gas o líquido exhalado o secretado por las superficies de las hojas.

Son varios los mecanismos que existen para la germinación de los hongos. Algunos esporos forman directamente tubos de gérmenes, ordinariamente en presencia del agua libre. Esos tubos de gérmenes son largas estructuras semejantes a dedos, que penetran a los tejidos del huésped.

Los esporos de otros hongos producen un tubo corto y grueso llamado promicelio, que contiene esporos aún más pequeños, los que a su vez producen los filamentos de hongo o hifas que crecen en el huésped.

Otros hongos se reproducen por medio de esporos nadadores, llamados zoósporos o esporos de enjambre, que se mueven por medio de una o más fibras semejantes a látigos. Los esporos de enjambre nadan por cierto tiempo en la capa de agua de la superficie de una hoja, quedando después en reposo y produciendo tubos de gérmenes.

La germinación por cualquier método produce finalmente el filamento de hongo o hifa mediante el cual el hongo inicia su crecimiento. Las hifas de algunos hongos que producen enfermedades invaden los huéspedes aprovechándose de las aberturas, incluyendo los poros respiratorios o estomas, que se encuentran en las superficies de las hojas de todas las plan-


PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIA DE VERANO EN PULGADAS
El algodón se cultiva
al Sur de esta línea.
La antracnosis del algodón se encuentra ampliamente distribuida al Oriente de esta línea, pero no se encuentra al Occidente de ella.
14 pulgadas o más
10-13 pulgadas
6-9 pulgadas
2-5 pulgadas
Menos de 2 pulgadas

tas, o los poros de agua que ocurren en grupos en las márgenes de las hojas de algunas otras. Las heridas que causan rupturas en los tejidos de las plantas sirven también como vías de entrada. Otros hongos no necesitan entradas preparadas especialmente, sino que penetran directamente a los tejidos del huésped.

LAS ENFERMEDADES atacan nuestras cosechas cuando los hongos patógenos se establecen en los huéspedes. El agua ayuda al ataque, propagación y gravedad final de las enfermedades de las plantas.

Se descubrió un ejemplo notable del efecto de las lluvias para limitar el área en donde ocurre una enfermedad, cuando se examinaron algunos campos de algodón para precisar la incidencia de las enfermedades de sus retoños y de las podres de la cápsula. Se encontró que la antracnosis del algodón *(Glomerella gossypii)* era constante e importante en la región de abundantes lluvias de verano en la parte oriental de la Zona Algodonera, aunque casi no existía en la parte occidental, que tiene menos lluvias. La ocurrencia y ausencia de la enfermedad estaban separadas como por una línea a través de la parte oriental de Texas y Oklahoma. La tierra que se encuentra en un lado de esa línea recibe un promedio de 10 pulgadas de agua en verano, y la que se encuentra al otro lado recibe más de 10 pulgadas. Todavía más: Dentro de la Zona Algodonera oriental, la producción de esporos es relativamente abundante en la semilla de algodón, que se cultiva en las áreas húmedas cerca de la costa, y generalmente es menor en las regiones del interior donde la humedad tiende a ser baja. No se producen esporos en el algodón cultivado en las regiones subhúmedas y semiáridas de Texas y Oklahoma.

El mapa que acompaña este artículo muestra la relación de la precipitación pluvial promedia de verano con la distribución de la antracnosis del algodón.

El conocimiento de esta distribución ayuda a reprimir las enfermedades de los brotes. La antracnosis, la causa más destructora de enfermedades del brote en la zona algodonera, se propaga en la semilla y puede reprimirse mediante el tratamiento de la misma con fungicidas. Sin embargo, las infecciones que se propagan en la tierra y que son más comunes en el Oeste, deben combatirse por medio de substancias químicas y métodos que sean eficaces contra los hongos de la tierra.

Las lluvias propagan muchas enfermedades de las plantas. Los esporos del hongo *Colletotrichum lindemuthianum,* que causa la antracnosis de las judías enanas y de sarmiento, se producen en las vainas de judías en forma de masas viscosas de color rosado. La lluvia que cae en las plantas enfermas salpica las plantas sanas que se encuentran próximas y propaga la infección.

En una atmósfera húmeda, los esporos del hongo de la plaga tardía de la papa, *Phytophthora infestans,* se producen en conidióforos aéreos que brotan de los estomas de las hojas. La lluvia arrastra a la tierra los esporos conidiales, y a través de ella, en donde infectan los tubérculos.

Tenemos muchos ejemplos del efecto del alto y bajo nivel de humedad en la ocurrencia y propagación de las enfermedades. La infección de las hojas de la lechuga por el hongo de la lama lanosa *Bremia lactucae,* ocurre cuando el aire está saturado de humedad, es decir, a una humedad relativa de 100%. Si el aire se mueve, germinan las conidias del organismo de la lama polvorienta del manzano *(Podosphaera leucotricha)* e infectan las hojas del manzano sólo a una humedad relativa de 100%. Por otra parte, varias especies de *Erysiphe,* otra lama polvorienta, pueden atacar sus huéspedes a una humedad relativa más baja de 25% a 55%. El marchitamiento parcial de los tejidos del huésped en el aire seco ayuda aparentemente a la penetración del hongo.

Se encuentra un ejemplo de los mínimos requisitos básicos de humedad necesarios para la infección en el *Helminthosporium oryzae* que ataca el arroz. La infección que produce no puede ocurrir a una humedad relativa menor de 80%.

El agua es un agente eficaz en la propagación de un lugar a otro de los hongos patógenos que habitan en la tierra. Las aguas de desagüe, de inundaciones o

de riego, transportan los organismos de las tierras infestadas a las áreas previamente libres. El hongo del pie negro del tabaco, *Phytohpthora parasitica,* variedad *nicotianae*, así como otras muchas especies de *Phytophthora* y muchos otros hongos de la tierra, han invadido de este modo nuevas localidades. Pueden quedar distribuidos en los lechos de los arroyos y los ríos desde las infestaciones originales en los valles altos, como ocurre con el *Phymatotrichum omnivorum,* el perjudicial hongo de la podre de la raíz del Sudoeste.

La humedad actúa en varias formas para favorecer o impedir la producción de enfermedades por los hongos que habitan en la tierra. Algunos organismos requieren gran cantidad de humedad y otros necesitan tierras más bien secas. Nuevamente, las cantidades necesarias dependen entre otras cosas de la etapa de desarrollo alcanzado por el hongo.

En general, los hongos son fuertemente aerobios, es decir, deben obtener su oxígeno del aire. Por lo tanto, para la supervivencia y crecimiento de los hongos que habitan la tierra, ésta debe contener por lo menos una cantidad mínima de aire. El aumento y la difusión del aire en la tierra permite una mayor actividad de los organismos que la habitan. Mientras más seca está la tierra es mayor el grado de ventilación de la misma.

Por lo tanto, la actividad de la mayoría de los hongos de la tierra depende del equilibrio entre sus requisitos específicos de humedad y su necesidad de aire.

El hongo de la tierra *Phytophthora cinnamomi,* causa una podre de la raíz del aguacate. Los plantíos en localidades inundadas o con exceso de riego en donde se encuentra presente este hongo en la tierra, quedan seriamente afectados. El exceso de humedad impide la ventilación adecuada de la tierra. Se dañan las raicillas del huésped debido a la falta de oxígeno y otros gases de la tierra, y el hongo penetra a través de las partes dañadas. Muchos otros miembros del género *Phytophthora* necesitan solamente la alta humedad de la tierra para causar enfermedades en varias plantas.

Otro organismo común en las tierras frías y húmedas es el *Plasmodiophora brassicae,* que es la causa del pie de basto de la col. La humedad de la tierra debe ser mayor del 45% de su capacidad de retención de agua para que ocurra la infección del hongo. La enfermedad se desarrolla rápidamente después de una estación de abundantes lluvias y su severidad aumenta en proporción con la humedad de la tierra.

El *Sclerotinia sclerotiorum* es un hongo que se propaga en la tierra y que causa el marchitamiento y descomposición de la lechuga, col, tomate, judías, chícharos y muchas otras plantas. Su principal medio de supervivencia de una estación a otra consiste en las esclerotias o masas compactas de hifas que producen los cuerpos fructificantes del hongo en condiciones favorables, o que pueden actuar por sí mismas como una especie de etapa reproductora. Se sabe que estas esclerotias sobreviven en tierra seca hasta 11 años. Sin embargo, si la tierra está inundada de agua las esclerotias se destruyen en 6 a 12 semanas, lo que hace que a veces se usen las inundaciones para reprimirlas. La alta humedad de la tierra favorece el desarrollo de este hongo, pero la inundación produce la falta de ventilación de la tierra, que constituye probablemente el factor principal en la muerte de las esclerotias.

Entre los hongos que resultan favorecidos por la baja humedad de las tierras se encuentran algunos de los tizones que atacan nuestros cereales y hierbas. Los esporos del tizón de la avena *(Ustilago avenae)* germinan mejor a baja humedad de la tierra, y esa germinación disminuye a medida que aumenta la humedad en la misma.

Los microorganismos no patógenos sobrepasan grandemente las formas que causan enfermedades. La gama de humedad dentro de la cual los miles de especies de esta gran clase permanecen vivos, es sumamente amplia. La gama dentro de la cual crecen es más reducida y varía con las especies. El polvo transportado por el aire y aun los ladrillos de adobe tostados por el sol durante años, contienen ordinariamente organismos viables.

Las bacterias resisten a la desecación más extrema que los técnicos de laboratorio puedan crear, si el procedimiento se lleva a cabo a muy baja temperatura. Los microorganismos que se encuentran en substancias absolutamente desecadas permanecen en reposo y no tienen actividades benéficas perjudiciales. Su capacidad para sobrevivir a la sequía asegura que siempre se encuentren presentes para iniciar la descomposición cuando las condiciones son nuevamente favorables. Así, un alimento esterilizado que se exponga a la atmósfera, se contamina rápidamente con los microbios transportados en el polvo. La tierra de un campo que vuelve a humedecerse después de una sequía prolongada contiene ordinariamente una microflora tan variada como antes de secarse.

Como los microorganismos ocurren ordinariamente en el polvo, el agua que cae en forma de lluvia, granizo o nieve puede contener poblaciones microbianas sorprendentemente numerosas.

Se encuentran muchas más bacterias en las primeras gotas de lluvia al principio de un aguacero que después de una lluvia prolongada. La lluvia que cae sobre las ciudades contiene más microbios que la que cae en los bosques o pasturas de las tierras altas. La lluvia que cae en las grandes ciudades puede arrastrar anualmente hasta cinco millones de organismos por yarda cuadrada, basándose esas cifras en los conocimientos que tenemos de que la lluvia contiene de 1 a 25 microorganismos por gramo. (Expresadas en cucharaditas, estas cifras tendrían que multiplicarse casi 5 veces.)

Esas cantidades son generalmente mayores en el agua que cae en forma de nieve que las de la lluvia, debido probablemente a la mayor superficie de las partículas de nieve. Se han encontrado hasta 500 microbios por gramo de nieve y hasta 20,000 por gramo de granizo, mientras que la nieve de las altas montañas y el agua de los glaciares son prácticamente estériles.

El agua superficial contiene también cantidades variables de microbios. Los arroyos abajo de las grandes ciudades y las aguas de los lagos u océanos adyacentes a las mismas, contienen ordinariamente muchos más organismos que el agua que se encuentra más alejada de las poblaciones humanas o de animales domésticos. Los desechos de plantas en el agua promueven el crecimiento de microorganismos en la misma forma que una abundante vida microscópica suministra a su vez alimento para los animales acuáticos más grandes.

El número de microorganismos en el agua sobrante de las tierras cultivadas, depende de la cantidad total de tierra en suspensión y de la cantidad de materia orgánica en la tierra. Como gran parte de la materia orgánica fresca de la tierra se encuentra cerca de la superficie y muchos microorganismos están asociados con ella y con las partículas más pequeñas de tierra (que son más susceptibles a la erosión en capas), se producen condiciones ideales para la pérdida de microorganismos en el agua sobrante.

Mediante las investigaciones efectuadas en la Universidad de Cornell por J. K. Wilson y H. J. Schubert, se encontró que había de 180 a 400 veces más organismos por cada gramo de materia sólida en el agua sobrante que los que había en la tierra de donde venía dicho sobrante. Los investigadores llegaron a la conclusión de que el agua sobrante de las lluvias ligeras lleva poblaciones microbianas relativamente abundantes debida a la alta proporción de subsistencias finas y ligeras en ella, mientras que las lluvias más fuertes producen un sobrante que contiene un sedimento más semejante a la misma tierra.

Como en la mayoría de las tierras agrícolas el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad, la erosión continua produce eventualmente un sobrante cuyo contenido microbiano no es tan abundante como el que existe en la tierra superficial normal no sujeta a erosión de la misma área general.

MUCHOS MICROORGANISMOS pueden prosperar bajo una tensión de humedad que es demasiado severa para el crecimiento de plantas superiores. Las raíces de las plantas no pueden obtener el agua necesaria para su crecimiento de una atmósfera de tierra que tenga considerablemente menos del 100% de humedad re-

lativa. El límite adecuado más bajo ocurre ordinariamente a poco menos de 99%. Varias especies microbianas pueden crecer a humedades relativas tan bajas como de 75%, si la temperatura y otras condiciones son adecuadas.

Si se exponen por tiempo suficiente muchos productos agrícolas de bajo contenido de humedad a una atmósfera con una humedad relativa de 75%, o mayor, pueden absorber suficiente humedad para permitir el desarrollo de lamas y bacterias.

Al igual que las plantan llegan al punto de marchitamiento a diferentes porcentajes de contenido de humedad en tierras distintas, el contenido de humedad en el que puede iniciarse el crecimiento bacteriano varía en substancias diferentes. Se considera ordinariamente ese valor como de 15% de humedad para el maíz desgranado a base de peso seco, y para el heno de alfalfa es aproximadamente de 20%, habiendo otros factores importantes, especialmente la temperatura. Los frijoles soya pueden almacenarse sin riesgo con un contenido de humedad de 14% durante 2 a 5 meses en tiempo frío; pero se necesita un contenido de humedad de 12%, o menor, para que puedan almacenarse sin riesgo durante el verano.

Se necesita un periodo de tiempo más prolongado al contenido favorable de humedad para que se inicie la descomposición a medida que la temperatura de almacenamiento es menor que la temperatura ordinaria ambiente y desciende hasta cerca del punto de congelación. A una temperatura favorable se necesita más tiempo para el crecimiento microbiano a medida que el contenido de humedad, ya sea de la substancia en sí o de la atmósfera que la rodea, es menos favorable.

En los estudios efectuados en la Universidad de Cambridge, T. J. R. Macara encontró que la carne que se secaba inicialmente y luego se almacenaba a una humedad relativa de 100%, se cubría con un brote de lama a los 3 días, ocurriendo lo mismo después de 7 días si se almacenaba a una humedad de 85%. Cuando se almacenaba a una humedad relativa de 75%, la producción de lama se demoraba hasta 40 días, no encontrándose ningún brote microbiano cuando la carne se almacenaba durante 200 días a una humedad relativa de 65%.

Generalmente pueden almacenarse sin riesgo las substancias alimenticias y las prendas de ropa en climas subhúmedos y templados si su contenido de humedad inicial cae bajo el contenido crítico que se requiere para un crecimiento microbiano; pero esos mismos artículos, aunque se sequen inicialmente a un contenido de humedad todavía menor, no pueden almacenarse sin protección alguna en los climas calientes, en los que pueda ocurrir una alta humedad relativa durante largos periodos de tiempo.

Los zapatos, ropa, papeles y otras substancias comunes, quedan sujetos rápidamente a los ataques microbianos bajo condiciones tropicales.

Una vez que comienza el crecimiento microbiano en un material que contiene cantidades apenas suficientes, o sea el límite del contenido de humedad, ese substrato tiende a ser cada vez más favorable porque el agua es uno de los productos finales más comunes en la descomposición. Asumiendo que los organismos tengan una eficiencia del 30% para convertir las substancias alimenticias en la substancia de sus propios cuerpos, puede esperarse que la completa descomposición de un *bushel* de maíz desgranado (si las condiciones son favorables), produzca aproximadamente treinta pintas de agua. Muchos de los organismos desarrollados en el curso de la descomposición se descompondrían para entonces y producirían cantidades adicionales de agua. La liberación de humedad es una de las razones que explican el porqué la descomposición es autocatalítica, o como se dice a veces, que una manzana podrida puede pudrir un barril entero.

Puede producirse una tensión demasiado rígida para la actividad microbiana debido a la falta de agua y a una elevada presión osmótica. La salmuera tiene bastante agua, pero su contenido de sal hace difícil o imposible que los microorganismos obtengan agua de la solución. En realidad, los cuerpos de los microorganismos que crecieron en otro medio y que se transfieren a una solución salina concentrada, pierden agua.

Varias sales pueden impedir el desarrollo microbiológico de diferentes maneras, debido a sus efectos específicos de iones, independientemente de su presión osmótica.

Muchos microbios pueden crecer a presiones más elevadas que las que pueden soportar las plantas.

Muchas tierras salinas y alcalinas son inadecuadas para el cultivo, no por deficiencia de organismos benéficos en ellas o por alguna restricción de la actividad microbiológica que se relacione con la fertilidad. De hecho, la mejoría obtenida en una tierra alcalina mediante la adición de azufre, se debe a la actividad microbiana, ya que ciertas bacterias hacen efectivo el azufre oxidándolo en forma de ácido sulfúrico.

Ocurren las mejores condiciones para muchas transformaciones microbianas deseables en la tierra, cuando existe en ella la cantidad máxima de agua que sea compatible con una ventilación adecuada, cuando la presión osmótica del agua es apropiada. Para muchos procesos microbianos de la tierra, el contenido óptimo de humedad es el que existe en el límite de porosidad de ventilación o a una tensión de 0.05 atmósfera. En forma aproximada, se calcula a veces ese contenido en el 60% de la capacidad máxima de retención de agua.

Cuando el contenido de agua de la tierra disminuye de la capacidad de humedad del campo hasta el porcentaje permanente de marchitamiento de las plantas, ocurre una disminución casi inapreciable en la actividad microbiana en la parte más elevada de esa gama de humedad. A medida que se aproxima el punto de marchitamiento, disminuye rápidamente la actividad microbiana y algunos organismos se inmovilizan por completo. Varios factores pueden ser responsables, pero el efecto solvente decreciente de la capa de humedad más delgada y la inadecuada difusión de los productos de desecho o tóxicos del crecimiento microbiano, son las causas principales.

Los diferentes microorganismos varían por lo que hace al contenido de humedad, en el que se vuelven más activos. Esto se debe en gran parte a sus diversas capacidades para crecer en las condiciones de escasez de oxígeno que se originan a medida que los espacios de los poros de la tierra se llenan de agua en vez de aire. Como grupo, los hongos dependen mucho más que las bacterias de una ventilación adecuada, y, por lo tanto, su crecimiento en la tierra queda más estrechamente restringido a medida que se llega a condiciones de saturación de humedad. Cuando el contenido de humedad es menor que la saturación de campo, los hongos se vuelven más numerosos en la población microbiana de la tierra. En nuestro laboratorio hemos podido comprobar que hay una población de hongos 90 veces mayor en una tierra arenosa, conservada durante 15 días a 5.6% de humedad, que la que se encuentra en la misma tierra cuando se la conserva saturada.

Las algas, en contraste con los hongos, crecen mejor en tierras cuyo contenido de humedad no sea mucho menor que el del agua de gravedad que se encuentra presente en los grandes espacios de los poros. Ordinariamente las algas se encuentran presentes en aguas estancadas y se cree que las que fijan el nitrógeno son parcialmente responsables del mantenimiento de la fertilidad del nitrógeno en los campos de arroz. A veces el crecimiento de algas es lo suficientemente abundante en las aguas de estanques para impedir que puedan beberse debido a su olor y sabor. Algunas algas pigmentadas que pueden sobrevivir a la sequía y crecer después rápidamente cuando las condiciones se vuelven favorables, imparten a veces un aspecto rojizo o verdoso a las superficies de la tierra después de unos cuantos días de tiempo húmedo.

El crecimiento de esas algas tiene poca significación en la fertilidad de la tierra. Obtienen de la luz la energía para su crecimiento y sus demandas de nutrición de la tierra son inapreciables.

El contenido de humedad más favorable para muchos cambios microbianos benéficos en la tierra sigue muy de cerca al contenido óptimo para la mayoría de nuestras cosechas ordinarias de campo, aunque pueden ocurrir pequeñas variantes. La humedad óptima de la tierra para la nitrificación, es ordinariamente un poco menor que para la descomposición

de la materia orgánica y para la amonificación. La necesaria para la fijación del nitrógeno es ligeramente más elevada. Si se aumenta la humedad de la tierra hasta la saturación, la nitrificación se detiene por completo. Un aumento menos drástico en el contenido de agua impide más rápidamente la nitrificación que la amonificación y la fijación del hidrógeno.

J. E. Greaves y E. G. Carter, de la Estación Agrícola Experimental de Utah, descubrieron que ordinariamente ocurre el máximo de amonificación y nitrificación cuando la tierra contiene un 60% de su capacidad de retención de agua. Si se aumenta la humedad de la tierra al 80% de su capacidad de retención de agua, la nitrificación se reduce en un 10%, la amonificación en un 44% y la fijación de nitrógeno en un 90% de los valores respectivos determinados a base del contenido óptimo de humedad.

La inundación de la tierra, especialmente la de una tierra fértil que contenga grandes cantidades de materia orgánica, favorece las transformaciones de diversas bacterias indeseables. Como gran número de organismos pueden usar el oxígeno que se encuentra en combinación química con otros elementos, la actividad microbiana bajo condiciones anaeróbicas causa la reducción de varios compuestos de la tierra. Algunas reducciones afectan adversamente la fertilidad de la tierra y el crecimiento de las plantas. El nitrógeno presente en forma de nitrato de nitrógeno queda sujeto a denitrificación y pérdida en la atmósfera en forma de nitrógeno gaseoso. Por lo tanto, el agotamiento del nitrógeno de la tierra por los microorganismos, aumenta sus necesidades de nitrógeno para el crecimiento de sus propios cuerpos. La reducción del nitrato de nitrógeno a nitrógeno atmosférico implica la remoción de todo el oxígeno combinado. La reducción parcial o remoción de parte del hidrógeno combinado da por resultado la formación de nitrito, un compuesto tóxico para las raíces de las plantas cuando se encuentra presente en más de unas cuantas partes por millón.

En tierras demasiado húmedas, tanto los sulfatos como el azufre elemental se reducen a sulfuros. El sulfato de hidrógeno, aun en muy pequeñas cantidades, es un veneno para las plantas y grandemente responsable del mal olor que se desarrolla después del estancamiento del agua en tierra fértil o sobre desperdicios de plantas. Las condiciones anaeoróbicas que resultan de la saturación de agua aumentan grandemente las formas menos oxidadas de manganeso a expensas de sus óxidos, reduciéndose también el hierro férrico a hierro ferroso. La mayor solubilidad de estos compuestos reducidos hace que muchas tierras saturadas de agua sean inadecuadas para el crecimiento de las plantas. En ausencia de materia orgánica que promueva la actividad microbiana, no aumenta la solubilidad del hierro, manganeso y ciertos otros elementos en las tierras inundadas.

El crecimiento de microorganismos en una tierra inundada disminuye la filtración o el movimiento del agua hacia abajo a través de la tierra. Parece que la disminución en permeabilidad se debe a un sellado mecánico que hace que se obstruyan los poros de la tierra con cuerpos microbianos o con los productos de su crecimiento. Esa obstrucción es deseable en la construcción de estanques para el ganado, y puede mezclarse paja u otra materia alimenticia con la tierra que va a ser cubierta por el agua, a fin de alentar el abundante desarrollo de los microorganismos. Al usar el estancamiento de agua para reponer las existencias subterráneas de la misma o para lavar la excesiva salinidad del perfil de la tierra, son indeseables los microbios si interfieren con el movimiento de agua a través de la tierra.

La continuada saturación favorece la conservación de materia orgánica, pero no favorece la descomposición de los residuos. La formación de turba es un ejemplo de sumergimiento de las plantas, ya que esa formación requiere una gran abundancia de crecimiento de plantas y un desagüe insuficiente, y a excepción de unas cuantas grandes cuencas, como las Everglades de Florida, ocurre más comúnmente en regiones templadas y subtempladas.

La falta de microorganismos que mineralicen completamente las substancias de las plantas sumergidas se debe a varios

factores. Uno de ellos es que las condiciones del medio ambiente son tan iguales que varios organismos dejan de crecer. Otro consiste en que no se desarrollan los hongos aerobios, que son principalmente responsables de la descomposición de la lignina o constituyente leñoso de las plantas. Escapan también casi completamente a la descomposición las grasas, las ceras y las resinas. En los pantanos se descomponen primeramente los azúcares, almidones y proteínas de las plantas, y las semicelulosas y celulosas se pudren más lentamente. Por lo tanto, la lignina y materias relacionadas constituyen un mayor porcentaje de la materia orgánica que queda en la turba, que en los musgos, juncos o eneas que constituyen la fuente de la materia orgánica. Sin aire, los azúcares y almidones no se oxidan completamente para convertirse en bióxido de carbono y agua, sino que sólo se fermentan parcialmente y permanecen como ácidos orgánicos. Los ácidos, a su vez, impiden la descomposición en ausencia de un abundante suministro de calcio que los neutralice.

El agua es esencial para la actividad microbiana, pero sólo cuando ocurre un exceso de ella dejan los microorganismos de destruir las materias de las plantas tan rápidamente como se forman. Si el desagüe es adecuado, la materia orgánica no se acumula en los trópicos húmedos, aun cuando se produzca anualmente un enorme tonelaje de ella; pero en el desierto la precipitación pluvial anual, por pequeña que sea, es suficiente para permitir la descomposición microbiana de todos los desechos de plantas que vuelven normalmente a la tierra en esos climas. Sólo en los pantanos excede el crecimiento de las plantas a su descomposición. Los dos procesos quedan nuevamente en equilibrio normal sólo después de la disminución de la meseta de agua o de la producción de materia orgánica acumulada en la superficie del agua.

PAUL R. MILLER *es patólogo de la Rama de Investigación sobre Cosechas Hortícolas del Servicio de Investigación Agrícola, y ha efectuado estudios sobre las enfermedades que atacan las cosechas económicas más importantes.* FRANCIS E. CLARK *es bacteriólogo de la Rama de Investigación sobre Conservación de Tierras y Aguas del Servicio de Investigación Agrícola, y ha efectuado numerosos experimentos relacionados con la transformación de elementos nutritivos de la tierra por los microorganismos.*

Tendencias en el aprovechamiento del agua

Karl O. Kohler, Jr.

Cinco acontecimientos desde 1940 nos han hecho comprender que debemos tomar medidas inmediatas para aumentar la conservación, mejorar la utilización e incrementar la administración de nuestros recursos hidráulicos. Esos acontecimientos fueron en la Segunda Guerra Mundial, los aumentos de población, los cambios en la industria, las sequías y la contaminación de los arroyos y lagos.

Nuestra población ha crecido más allá de lo que se esperaba normalmente y ha aumentado en la misma forma la cantidad de agua necesaria para la producción de alimentos y fibras y para llenar las demás incontables necesidades de agua que tiene la población. En 1940 calculamos que nuestra población sería de 175 millones en 1975, y desde entonces hemos tenido que revisar ese cálculo a 200 millones.

Se inició un cambio importante en la población en los comienzos de la guerra. Por ejemplo, la población de 6 de los estados del Lejano Oeste aumentó de 25 a 52% entre 1940 y 1950, y el aumento nacional fue de 15%.

La expansión industrial (y con ella una fuerte demanda de agua) se movió hacia el Oeste y hacia el Sur. La disponibilidad de la energía eléctrica a bajo costo atrajo una porción considerable de la industria de guerra al noroeste del Pacífico. El gran incremento de las superficies de riego en el Lejano Oeste y la rápida introducción de riegos suplementarios en todo el Medio Oeste y en los estados del Oriente y del Sur, contribuyeron al excesivo consumo de agua.

En 1939 había 17.243,396 acres de granjas de riego en los 17 estados del

Oeste. Para 1949, esa superficie había aumentado en 39% hasta 24.270,566 acres. El aumento en el resto del país fue de 105%, de 739,434 acres a 1.516,894 acres. Se calcula que en 1954 el total de tierras de granjas de riego llegó a 27.5 millones de acres.

Las frecuentes sequías son una característica normal del clima en las zonas del sur de las Grandes Llanuras. En 1959 se inició en ellas un periodo crítico de sequía y han ocurrido condiciones semejantes en algunas partes del Oeste, del Medio Oeste y del Sur. Las municipalidades han tenido que encontrar nuevas fuentes de agua para suplementar o reemplazar sus existencias. Las industrias han tenido que desarrollar cantidades cada vez mayores de sus propios suministros de agua. El cubrir la necesidades de agua de los seres humanos y del ganado se ha convertido en un serio problema en muchas regiones.

La rápida expansión industrial que ha ocurrido desde 1938, así como la disminución del flujo de los arroyos en las áreas de sequía, han acelerado el creciente problema de la contaminación de los arroyos y ríos. La gravedad de la situación se hace cada vez más aparente para el público, porque la contaminación está desanimando la expansión industrial en algunas regiones y amenaza también muchos recursos hidráulicos municipales.

La Inspección Geológica calcula que en la nación se libera un promedio diario aproximado de 4,300 billones de galones procedentes de la precipitación. ¿Qué es lo que le ocurre?

Al caer sobre las superficies de la tierra, parte de esa precipitación se infiltra en el suelo; otra parte corre sobre la superficie de la tierra, y cierta cantidad se evapora de nuevo a la atmósfera. La parte que penetra en la tierra y la que llega a las corrientes de agua constituyen los potenciales primarios de los recursos de desarrollo de agua nacionales. A medida que se utilizan ciertas partes de ella, el agua de desperdicio y el flujo sobrante vuelven de nuevo a las corrientes de agua, en las que ocurren algunas filtraciones y evaporaciones. El flujo residual continúa hasta que se detiene en un lago, mar u océano, en los que la evaporación es un proceso continuo.

Este proceso parece ser una sencilla explicación del movimiento del agua de la tierra, pero hay muchos caprichos en las relaciones que existen entre los varios factores que forman el ciclo hidráulico y aun dentro de ellos mismos. Necesariamente sólo se pueden dar cifras aproximadas para describir los factores que se relacionan directamente con la producción del agua de la nación. Los promedios varían grandemente en cualquier serie de años y en muchas condiciones locales.

La precipitación promedia anual en los Estados Unidos de Norteamérica es aproximadamente de 30 pulgadas. Aproximadamente 22 pulgadas, o el 70% de ella, puede volver directamente a la atmósfera por medio de la evaporación y de la transpiración, y el sobrante queda disponible en los arroyos y depósitos subterráneos. Sobre una base nacional, no es uniforme la distribución de la precipitación. Por ejemplo, los 17 estados del Oeste, que cuentan aproximadamente con el 94% de las tierras de riego y el 60% de nuestra área superficial, reciben solamente alrededor del 25% de la precipitación total.

La Inspección Geológica calcula que nuestra actual demanda de agua dulce en nuestra superficie y depósitos subterráneos es aproximadamente de 63,000 billones de galones al año, lo que significaría aproximadamente el 4% de la precipitación total anual, o el 13% de la precipitación residual después de descontar las pérdidas por evaporación y transpiración. De esas existencias, el 83% se deriva de las aguas superficiales y el 17% del agua en la tierra.

En los Estados Unidos de Norteamérica la mayor parte del agua se destina a riegos, de 75 a 100 billones de galones diarios, o aproximadamente la mitad del agua dulce que usamos anualmente.

Los siguientes consumidores importantes de agua son la industria y las plantas de vapor generadoras de energía, cuyos requerimientos diarios se calculan, aproximadamente, en 70 billones de galones

de agua dulce empleados en las plantas, además de las aguas salobres y saladas que se usan para enfriamiento. Los siguientes son ejemplos de las necesidades de la industria: 18 barriles de agua para la refinación de un barril de petróleo; 300 galones de agua para hacer un barril de cerveza; 10 galones de agua para refinar un galón de gasolina; 250 toneladas de agua por cada tonelada de pulpa de madera sulfatada, y de 600 a 1,000 toneladas de agua por cada tonelada de carbón quemada en una planta de vapor generadora de energía.

Una gran fábrica de papel utiliza diariamente más agua que una ciudad de 50,000 habitantes.

El consumo doméstico de agua tiene la principal primacía entre sus diversos usos. Esa agua debe ser adecuada para el consumo del hombre y estar siempre disponible. El Servicio de Salubridad Pública informó que la necesidad promedia de agua es de 137 galones diarios por persona, que fluctúa desde 60 galones diarios en comunidades de 500 personas, o menos, hasta aproximadamente 180 galones diarios en ciudades de 10,000 habitantes, o más.

LA CAMBIANTE DIETA norteamericana incluye actualmente más productos animales, frutas, verduras y azúcar, y menos granos y papas. El aumento en las necesidades de tierras de cosecha para la producción de alimentos, debido a la inclusión en nuestra dieta de mayores cantidades de productos derivados del ganado desde el principio de la Segunda Guerra Mundial, es de 0.14 de acre por persona, lo que hace un total de 2.5 acres de tierras de cosecha que son necesarias para alimentar a cada habitante. Para 1975 puede necesitarse la producción equivalente de 100 millones de acres para llenar las demandas de nuestra mayor población. Como la tierra disponible para esa nueva producción es limitada, el incremento en las necesidades alimenticias se asociará directamente al uso del agua en los riegos y con el aumento planeado de la producción de las actuales tierras de labranza.

La aplicación del agua en los riegos es relativamente poco eficiente, y los suministros anuales a una granja pueden variar de menos de un pie-acre por acre (325,850 galones) hasta más de 7 pies-acre por acre (2.280,950 galones). Un corte de alfalfa requiere, aproximadamente, 325,800 galones de agua por acre, y una cosecha de algodón necesita 800,000 galones.

La eficiencia con que los agricultores aplican el agua de riego a sus cosechas puede variar del 15 al 90%, lo que significa que las raíces de las plantas sólo aprovecharán del 15 al 90% del agua con que se riegue un campo, perdiéndose el sobrante en forma de desbordamiento, filtraciones profundas y evaporación.

Los problemas relacionados con la meseta de agua son muchos y variados, y a menudo se agudizan en las áreas de riego del Oeste. El uso de las aguas superficiales para riego, va acompañado ordinariamente de una alza de nivel de la meseta de agua, aunque en ciertas condiciones las aguas de filtración ayudan a la reposición de los mantos acuíferos en las áreas adyacentes o se mueven hacia abajo en las pendientes e interfieren con el uso de las tierras bajas. Cuando la meseta de agua sube muy cerca de la superficie, puede producir desagües, salinidad y problemas alcalinos que deben corregirse si se quiere que no se limiten las cosechas.

Entre los muchos ejemplos de los problemas relacionados con el descenso de las mesetas de agua, Harold E. Thomas cita los siguientes en su libro *La Conservación del Agua de la Tierra,* publicado por McGraw-Hill Book Co. Inc. en 1951:

En el Valle de Santa Cruz, en Arizona, el consumo fue de 420,000 pies-acre en 1941, 730,000 pies-acre en 1945 y 1.250,000 pies-acre en 1949. La reposición anual promedia de todas las fuentes se calculó en 1942 en 215,000 pies-acre. La meseta de agua bajó 50 pies en 9 años en el área de Eloy.

En 1910 se creía que las existencias de agua de la tierra en el Valle Antelope, de California, eran inextinguibles. Los pozos artesianos tenían presiones mayores de 10 libras por pulgada cuadrada y producían 900 galones por minuto. Muchos de esos pozos dejaron de producir en 1920, y la cifra anual de bombeo en

1950 fue de 110,000 pies-acre. La reposición calculada fue de 65,000 pies-acre. El nivel de agua de los pozos ha ido disminuyendo a razón de 3 pies anuales.

El pueblo de Fessenden, en North Dakota, agotó la mayor parte de un pequeño manto acuífero en 20 años con sus bombas municipales, habiendo encontrado luego otro nuevo manto acuífero a 5 millas de distancia, y en 4 años de bombeo redujo su producción de 100 a 10 galones por minuto. El pueblo tuvo entonces que traer 15,000 galones de agua diarios de una ciudad vecina, hasta que se encontró otro manto acuífero a 7 millas de distancia.

La contaminación de las aguas de la tierra es también una consecuencia del excesivo consumo. El agua salada ha invadido los depósitos subterráneos de agua en algunas partes del Valle Salinas y a lo largo del área costera próxima a Los Angeles. En el área de El Paso, en Texas, y en el área Walton-Mohawk, en Arizona, el exceso de consumo de los pozos ha producido un incremento en el porcentaje de minerales en las aguas. El agua de ciertos pozos en la última de las áreas mencionadas se califica de "perjudicial e inadecuada" para el riego.

La sedimentación se asocia de varios modos a los problemas del agua. Carl B. Brown, del Departamento de Agricultura, escribió lo siguiente en su libro *El Control de la Sedimentación de las Presas:* "El 21% de los depósitos (municipales) de los recursos de agua de la nación, tendrá una vida útil de menos de 50 años, y otro 25% durará de 50 a 100 años. Sólo el 54% proporcionará almacenamiento suficiente para nuestras necesidades actuales de aquí a 100 años (sin tener en cuenta las necesidades futuras)."

Además de hacer más costoso el almacenamiento de agua, la pérdida de ese almacenamiento debida a la sedimentación puede causar nuevos problemas cuando no hay sitios adicionales de almacenamiento disponibles. Se han abandonado las presas llenas de sedimento, y cuando no ha habido otros sitios de almacenamiento disponibles se han reorganizado los sistemas de suministro de agua.

Las aguas sedimentadas requieren un tratamiento especial antes de que puedan usarse para consumo doméstico y para la mayoría de los fines industriales. Las materias en suspensión disminuyen la penetración de la luz, de la cual dependen las plantas para el proceso de fotosíntesis, para la estimulación de su crecimiento y para la liberación de oxígeno. Se destruye todo el equilibrio ecológico, las benéficas relaciones naturales internas, en la vida de las plantas o animales que ocurre en las aguas sedimentadas.

Los problemas de las arterias hidráulicas y de los pequeños arroyos se han agravado con el flujo irregular del agua, que varía desde las inundaciones a un flujo mínimo insuficiente. A medida que aumentan las industrias y las municipalidades a lo largo de las corrientes de agua, se hace mayor el peligro de las inundaciones.

Se hace necesaria la expansión y desarrollo de un sistema moderno de corrientes de agua a fin de llenar las necesidades de nuestro país. Deben resolverse los múltiples problemas de sedimentación, contaminación y flujo incontrolable del agua para conservar esas corrientes, a un costo razonable para el gobierno.

AL PROMULGAR la Ley de Recursos Hidráulicos, el 17 de agosto de 1954, el presidente Eisenhower dijo: "...reconocemos que es de urgente necesidad conservar y mejorar nuestros recursos hidráulicos... no podemos desperdiciar el agua..."

El 26 de mayo de 1954, el Presidente nombró un Comité de Gabinete Sobre Recursos y Política Hidráulicos, para revisar nuestras políticas y programas hidráulicos, ayudar en la coordinación de las actividades de las diversas agencias gubernamentales en relación con el agua y estudiar una legislación nacional sobre recursos hidráulicos. Un personal especializado del Comité de Organización de la Rama Ejecutiva del Gobierno, comenzó a obtener información semejante en relación con la legislación nacional de aguas, haciendo lo mismo el Comité sobre Política de Recursos Hidráulicos de la Conferencia Nacional para la Conservación del Agua.

Debe llevarse a cabo un planeamiento extenso para la utilización de los recursos

hidráulicos de los ríos, basándose en las condiciones de sus lechos. La legislación primitiva, tal como la Ley de Restauración de 1902, tenía como objeto principal la ayuda a los riegos en el Oeste. La Ley de Control de Inundaciones de 1928 perseguía el control de las inundaciones en el Valle del Río Mississippi. En la actualidad el planeamiento de los lechos de los ríos por las agencias federales y estatales comprende la relación entre todos los posibles usos del agua en la vertiente hidráulica, o sea la navegación, control de inundaciones, riegos, producción de energía, suministro de aguas para consumo municipal e industrial, actividades recreativas y fauna. En 1928 se aprobó la construcción de la Presa Hoover como el primer proyecto de fines múltiples autorizado específicamente por el Congreso. Desde entonces se han considerado bajo ese mismo aspecto de fines múltiples todas las estructuras semejantes construidas por la Oficina de Restauración del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de Norteamérica.

A medida que los recursos hidráulicos se hacen más escasos se vuelven más comunes el aprovechamiento para fines múltiples y el uso de las aguas de los ríos, de acuerdo con las mutuas relaciones de los intereses privados. El Sistema Hidráulico de Big Creek, en California, es un ejemplo de lo anterior. Una empresa privada productora de energía ha construido desde 1911 una serie de cuatro presas de almacenamiento y una de regulación en Big Creek y en la rama Sur adyacente del río San Joaquín. El sistema funciona de acuerdo con los derechos de agua que se encuentran hacia abajo de la corriente, y actualmente es posible aprovechar los flujos de las inundaciones de primavera y hacer que queden disponibles para riegos en la parte baja de la corriente en los meses de verano de bajo flujo de agua. Se calcula que en los años de suministro normal, el almacenamiento disponible puede llegar a 80,000 pies-acre. La construcción de esas cuatro presas ha hecho el área accesible a nuevos intereses recreativos y se han construido sitios de recreo cerca de cada uno de los lagos.

Más hacia abajo, en el río San Joaquín, la Oficina de Restauración ha construido también una presa para suministrar agua para riego y consumo doméstico y proteger contra las inundaciones a los habitantes del Valle del Río San Joaquín.

Durante los últimos 50 años, el Congreso ha promulgado más de 100 leyes relativas a contaminación de aguas, y en 1948 se promulgó la Ley de Contaminación de Agua.

Esa ley estableció la responsabilidad primordial y los derechos de los estados en el control de la contaminación del agua; pero hizo posible que el Gobierno Federal auxiliara a los estados por medio de donativos y préstamos para ayudar en los trabajos de control de la contaminación y para llevar a cabo investigaciones, inspecciones y estudios sobre ella.

En 1954 el Congreso concedió un millón de dólares al Servicio de Salubridad Pública para la administración de la ley y para investigaciones, estudios e inspecciones de los problemas de la contaminación, algunas de cuyas medidas se llevaron a cabo en cooperación con varios estados.

Todos los estados y territorios cuentan con alguna agencia o división que trabaja en los problemas de contaminación del agua. En 1922, 24 estados y territorios invirtieron menos de 28,000 dólares en trabajos de contaminación; 15 estados invirtieron entre 25,000 y 50,000 dólares en los mismos; 3 de ellos invirtieron de 50,000 a 75,000 dólares, y 7 invirtieron de 75,000 a 100,000 dólares, habiendo invertido otros 4 estados más de 100,000 dólares.

Un estudio efectuado por el Departamento de Salubridad, Educación y Bienestar, demostró que en 1951 había 11,800 fuentes de contaminación municipales y 10,400 descargas de desechos de fábricas en nuestros arroyos y lagos; que 6,700 municipalidades contaban con plantas de tratamiento de aguas negras, pero que sólo 3,531 de esas plantas tenían la capacidad adecuada, y que 2,595 plantas industriales trataban sus aguas de desecho.

Se calculó que se necesitarían, aproximadamente, 2.5 billones de dólares para la construcción de nuevas plantas municipales, así como para reemplazos, agregados y ensanchamiento de las actuales para que funcionaran en forma satisfac-

toria. El incremento en las necesidades durante los siguientes 10 años elevaría ese costo a un total aproximado de 4.5 billones de dólares para 1961.

Se han formado organizaciones de investigación en varias industrias, tales como la del papel, la enlatadora, la de productos de leche y las industrias petroleras en un esfuerzo para hallar métodos aceptables para el tratamiento de las aguas de desecho. Se proyecta la investigación en vista de la posibilidad de reacondicionar algunos de los productos que contienen esas aguas de desecho, al mismo tiempo que se lleva a cabo el procedimiento de purificación.

Se dan los siguientes ejemplos de los éxitos alcanzados con esas investigaciones:

Una empresa química, a la que el Departamento de Salubridad del Estado había exigido que disminuyera su contaminación, encontró que las aguas de desecho tenían un alto contenido de vitaminas, y en la actualidad esas vitaminas constituyen el producto principal de la empresa.

Una empresa siderúrgica del Valle del Río Ohio invirtió 516,000 dólares en una planta de tratamiento para evitar que se tiraran cenizas de los hornos en un río, y el primer año de su funcionamiento obtuvo una utilidad de 581,000 dólares mediante la recuperación de materias reacondicionadas.

La industria destiladora ha vendido durante muchos años los granos secos y los concentrados de proteínas como alimentos para el ganado.

A menudo, sin embargo, no se pueden reacondicionar los productos útiles de las aguas de desecho y el costo adicional de tratamiento de las mismas tiene que absorberse como gastos de producción.

De acuerdo con las opiniones expresadas por B. A. Poole y Ralph H. Holtje en el "Diario de la Asociación Norteamericana de Obras Hidráulicas", en su número de julio de 1954, existe en Indiana un ejemplo del progreso alcanzado por la industria en la reducción de la contaminación. En ese Estado, entre los años de 1947 y 1953, 147 industrias construyeron nuevos servicios de tratamiento con un costo mayor de 23 millones de dólares, o sea un promedio de más de un millón de dólares anuales. Aun así, Indiana contaba todavía casi con 200 plantas industriales sin medios adecuados de tratamiento.

PUEDE OBTENERSE un gran aumento en la utilización proporcional de los recursos actuales de agua dulce por medio de la conservación y de una nueva forma de utilizarlos.

Los recursos actuales pueden aumentarse en la siguiente forma:

Con la adopción de leyes para el control de la conservación y distribución de los recursos de agua superficiales y de la tierra para usos benéficos. La conservación del agua se deriva generalmente de la promulgación de nuevas leyes hidráulicas o de la reforma de las antiguas. Las leyes hidráulicas apropiadas establecen un control para su aprovechamiento entre las necesidades competidoras, protegen los derechos de agua de los usuarios, mantienen un control sobre los recursos hidráulicos disponibles y disminuyen el uso inadecuado y el desperdicio.

Por medio del planeamiento de los recursos naturales a base de las condiciones de los lechos de los ríos, que incluya las relaciones mutuas de todos los usuarios del agua.

Con el reacondicionamiento de lo que se llama actualmente "aguas de desperdicio".

Con el nuevo aprovechamiento más eficiente de las aguas industriales.

Con mejores prácticas de utilización en la tierra para conservar la precipitación natural y disminuir el movimiento de los sedimentos.

Con el manejo y utilización más eficientes del agua de riego para disminuir las pérdidas de transportación y aumentar su eficiencia de aplicación. El agua que se ahorra en esta forma puede ser usada ordinariamente en las diversas localidades:

Con la intensificación de las actividades de desagüe, riego y control de inundaciones.

Por medio de la disminución de la evaporación de las superficies de agua. Esto abre un nuevo campo de investigación que puede llevar a hallar la forma de conservar el agua.

SE ESTÁN INVESTIGANDO nuevos recursos hidráulicos y se están utilizando hasta cierto punto. Estos recursos incluyen:

Disminución de las pérdidas debidas a la transpiración por medio de la vegetación nativa. Se calcula que tan sólo en los 17 estados del Oeste, las plantas perjudiciales desperdician de 20 a 25 millones de pies-acre de agua anuales. Si pudiera ahorrarse la mitad de esa cantidad, proporcionaría anualmente un volumen de agua equivalente a 3 pies-acre en 1.700,000 acres.

Conversión económica del agua del mar en agua dulce. El Departamento del Interior ha iniciado trabajos de investigación a este respecto.

"Siembra de nubes" para inducir o controlar la precipitación.

Desarrollo adicional de las aguas subterráneas y superficiales.

A medida que aumenta la escasez, tendrá que echarse mano de los recursos menos económicos, a mayor costo por unidad de agua.

Los problemas de suministro de agua en Norteamérica serán muy graves durante los años venideros, pero pueden solucionarse mediante los esfuerzos organizados de toda la nación.

KARL O. KOHLER, JR., *es director de la División de Ingeniería del Servicio de Conservación de Tierras en Washington, Distrito de Columbia. Ha trabajado también en problemas de riego con las Naciones Unidas y con el Banco de Exportación e Importación en México, Afganistán, la India y Tailandia.*

¿De dónde obtenemos nuestra agua?



Del océano al cielo, a la tierra y al océano

William C. Ackermann, E. A. Colman y Harold O. Ogrosky

SE LLAMA CICLO acuático a la incesante circulación de la humedad y del agua de la tierra. Es un sistema gigantesco que funciona dentro del suelo y en su superficie, en los océanos de nuestro planeta y en la atmósfera que lo rodea.

El ciclo no tiene principio ni fin; pero como nuestra discusión tiene que principiar en algún lado, podemos imaginarnos que comienza con el agua de los océanos, que cubren, aproximadamente, las tres cuartas partes de la superficie del globo.

El agua de la superficie de los océanos se evapora en la atmósfera.

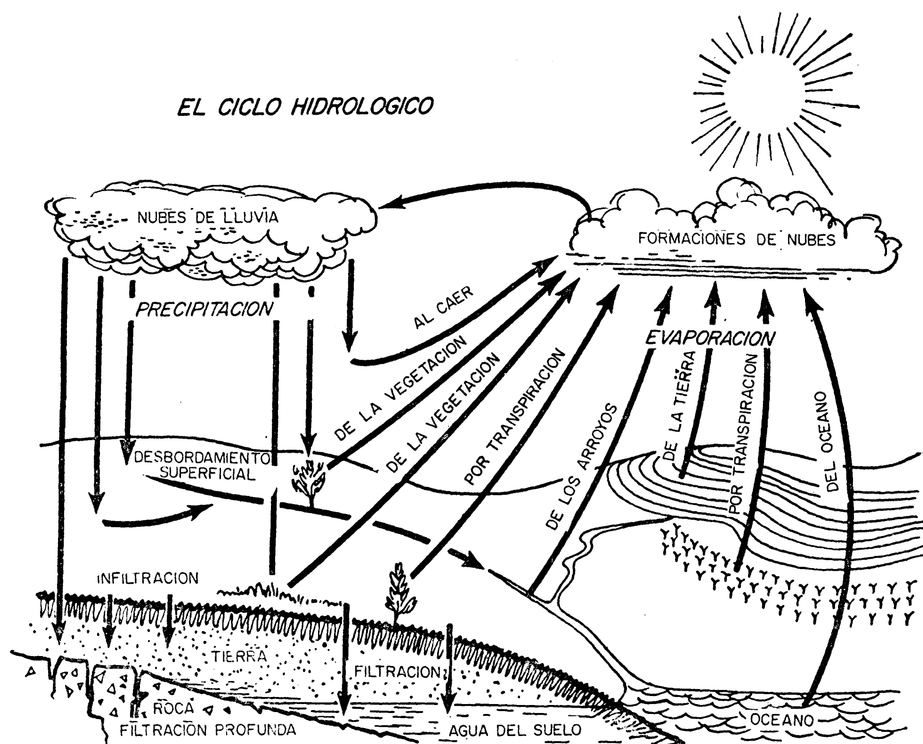
Esa humedad sube a su vez, y eventualmente se condensa y cae de nuevo sobre la superficie de la tierra en forma de precipitación.

La parte de esa precipitación que cae en forma de lluvia, granizo, rocío, nieve o escarcha sobre la tierra, tiene importancia especial para el hombre y la agricultura.

Una parte de esa precipitación, después de mojar el follaje y el suelo, corre sobre la superficie hasta los arroyos. Esta es el agua que a veces causa erosión y es el principal origen de las inundaciones. De la precipitación que moja la superficie de la tierra, alguna parte se utiliza para el crecimiento de las plantas y se pierde en evaporación. Otra parte llega a las zonas más profundas, se filtra lentamente a través de los manantiales y escurre para conservar el caudal de los arroyos durante períodos de sequía. Los arroyos, a su vez, vuelven eventualmente a los océanos en donde el agua tuvo su origen. Debido a esta incesante circulación se conoce el procedimiento como ciclo acuático o ciclo hidrológico.

Cada año se evaporan de los océanos, aproximadamente, 80,000 millas cúbicas de agua, y aproximadamente 15,000 millas cúbicas de los lagos y superficies de la tierra de los continentes. La evaporación total es igual al total de la precipitación, de la cual caen, aproximadamente, 24,000 millas cúbicas sobre las superficies terrestres, lo que equivale a una altura de 475 pies sobre todo el Estado de Texas.

PUEDE CONSIDERARSE que la circulación de la atmósfera terrestre y de la humedad se inicia en la zona que rodea al Ecuador. Como cerca de él se recibe mayor cantidad de energía solar que más hacia el Norte o hacia el Sur, ocurre un mayor calentamiento en esa zona, dando por resultado una mayor evaporación y haciendo que el aire tienda a subir. El



aire caliente y húmedo fluye hacia afuera desde el Ecuador a grandes alturas, y debido a la rotación de la tierra se mueve en el Hemisferio Norte en dirección general del Nordeste. Para cuando ese aire llega, aproximadamente, a los 30° de latitud Norte, que es casi la latitud de New Orleans, ha perdido calor suficiente para que tienda a bajar. Ese aire que se mueve hacia abajo se divide generalmente sobre la superficie de la tierra. Una parte se mueve hacia el Sudoeste como lo hacen los vientos alisios, y vuelve de nuevo al Ecuador, y otra parte se mueve hacia el Nordeste a través de la Zona Templada.

Muy hacia el Norte, en las cercanías del Polo, funciona otro sistema de circulación. Se produce allí una masa de aire frío que fluye hacia afuera en dirección del Sudoeste. El aire polar se calienta en su movimiento hacia el Sudoeste, y a una latitud aproximada de 60°, que se encuentra dentro del Canadá, se vuelve lo suficientemente caliente para subir y volver de nuevo hacia el Polo. De tiempo en tiempo los frentes de este aire frío polar se mueven a través de la Zona Templada y constituyen un factor importante en la producción de nuestras lluvias generales.

Si la superficie de la tierra estuviera totalmente cubierta de agua, la circulación general que hemos descrito sería absolutamente regular y ocurriría en franjas o bandas alrededor de la tierra. Sin embargo, la presencia de grandes masas de tierra cambia esa forma regular, porque los efectos del calentamiento producido por el sol son diferentes sobre la superficie de la tierra que sobre el agua. Por ejemplo, en invierno se enfrían más rápidamente las masas de tierra y quedan parcialmente cubiertas de nieve que refleja la mayor parte del calor solar en vez de absorberlo. El frente polar, por lo tanto, se mueve en invierno más hacia el Sur sobre los continentes, lo que da por resultado la formación de células de presión de aire frío y elevado sobre las masas de tierra, y de células de presión de aire caliente y bajo sobre los océanos, situación que se invierte en verano.

Los tres grandes tipos de tempestades o condiciones que funcionan dentro de esos movimientos generales para producir la precipitación, son: el ciclónico, el tipo de convección o de tormenta y el tipo orográfico o de montaña.

El tipo ciclónico o de área de baja presión es el tipo de tormenta familiar que produce lluvias generalizadas sobre extensas áreas. Las tormentas son especialmente frecuentes durante el invierno.

Las tormentas ciclónicas son ondas atmosféricas que se forman a lo largo del frente polar por la mutua acción de las masas de aire frío polar y de las masas de aire caliente tropical. Esas ondas se mueven generalmente de Oeste a Este en nuestra latitud, siguiendo la forma general de circulación. Un elemento esencial del ciclón es el sector de aire caliente del lado Sur del sistema giratorio de baja presión. El sector caliente se compone de aire que tiene su origen en las regiones tropicales y contiene la humedad que al elevarse se transforma para convertirse en precipitación. Este aire caliente y húmedo se mueve generalmente en dirección Nordeste, y como es más ligero que el aire frío existente que encuentra, se mueve hacia arriba sobre la cuña de aire frío más pesado. Se llama ordinariamente frente caliente al plano que limita esas masas de aire de diferente temperatura. La elevación causa la condensación y una amplia franja de precipitación de baja intensidad.

Al noroeste del sector de aire caliente hay una carga de aire polar que se mueve rápidamente a través del aire caliente en forma de cuña fría y pesada. Se llama frente frío a la cara anterior de esa masa de aire frío, y a lo largo de ella el aire caliente se eleva también para producir la precipitación.

Como el frente frío se mueve más rápidamente y es más escarpado, produce ordinariamente una intensa precipitación, pero de corta duración.

A medida que una perturbación ciclónica pasa sobre cierta área al moverse del Oeste hacia el Este, la precipitación comienza generalmente con una lluvia lenta y fría o con nieve, mientras la precipitación del frente caliente cae a través del aire frío inferior. Sigue luego un período de tiempo caliente y de chubascos, a medida que el sector caliente se mueve a través del área. La fase caliente de la tormenta termina con el rápido paso del frente frío, acompañado a menudo de abundantes lluvias y de la iniciación de un período de tiempo frío.

LAS TORMENTAS del tipo de convección constituyen un segundo tipo familiar que produce ordinariamente las lluvias más intensas y ocurre sobre áreas relativamente pequeñas.

Las tempestades ocurren sobre todo el país, pero son más frecuentes en la parte Sur durante el verano. Las tormentas de convección se forman cuando el aire sobre una localidad se vuelve más caliente que el aire que lo rodea, debido a un calentamiento irregular. Esa área de calentamiento excesivo puede ocurrir sobre una ciudad cuyas calles y techos de sus casas están más calientes que los campos circunvecinos. La diferencia entre los campos desnudos y calientes y los bosques frescos, o la diferencia entre las tierras y los lagos, producen este efecto. Cualquiera que sea la causa, cuando el aire sufre un calentamiento adicional se vuelve más ligero y, por lo tanto, sube. El aire caliente se dilata y se enfría a medida que sube, y si hay suficiente humedad y el proceso de enfriamiento continúa por cierto tiempo, se produce la precipitación.

La discusión anterior de los tipos de tempestades ciclónicas y de convección, describe la forma en que el aire caliente y húmedo se eleva y se enfría hasta alcanzar el punto de precipitación mediante un proceso de circulación. En el primer caso, el aire caliente sube sobre el aire frío más pesado, mientras que en el segundo el calentamiento irregular hace que el aire se eleve.

EL TIPO OROGRÁFICO o montañoso es el tercer tipo familiar de tormenta que causa precipitación. Una cadena de montañas puede actuar como una cuña o barrera sobre la cual el aire caliente y húmedo se eleva y se enfría hasta el punto en que ocurre la precipitación. En este caso el movimiento del aire caliente puede relacionarse, ya sea con la circulación ge-

neral dentro de la atmósfera o con la circulación alrededor de un centro de tormentas.

El mejor ejemplo de precipitación orográfica en nuestro país ocurre a lo largo de las montañas de la costa del Oeste, en Washington, Oregon y California. El aire húmedo que fluye del Pacífico se eleva en su movimiento general hacia el Este, produciendo una zona de fuertes lluvias normales. La precipitación orográfica es generalmente de baja intensidad; pero como las montañas se encuentran fijas en una localidad, la precipitación resultante cae en esa misma localidad general y el total de lluvias anuales es muy alto, lo que contrasta con la precipitación causada por las tormentas que son libres para moverse y que ocurren en muchas localidades diferentes.

Ocurren variaciones de los tres tipos básicos de tempestades y a veces pueden combinarse sus efectos. Por ejemplo, las tormentas son más comunes en las montañas en donde ha ocurrido cierto levantamiento orográfico preliminar que aumenta la inestabilidad del aire y la probabilidad de que ocurran tempestades. Frecuentemente la lluvia que resulta de las tormentas ciclónicas se acentúa por el levantamiento orográfico de una montaña. Otro ejemplo de combinación de tipos de tormentas es la ocurrencia de tempestades en el sector inestable caliente, o por el paso de un frente de aire frío en una tormenta ciclónica.

Hasta ahora hemos tratado de las fuentes de humedad, de la circulación atmosférica y de algunos de los procesos más importantes para elevar la humedad. Cuando los procesos de elevación y enfriamiento continúan hasta el punto de condensación atmosférica se forman pequeñas gotas, ocurriendo la condensación en las partículas de polvo que contiene el aire. Al convertirse en pequeñas gotas, la humedad toma la forma de nube o niebla y puede permanecer suspendida si el aire se mueve hacia arriba en forma tal que pueda sostenerla. De hecho es muy común que esas pequeñas gotas vuelvan a evaporarse sin producir ninguna precipitación. Bajo ciertas condiciones, sin embargo, las pequeñas gotas aumentan suficientemente de tamaño y peso para que caigan. Se cree que el aumento de tamaño ocurre en dos formas principales: La primera es en las nubes, que consisten de una mezcla de hielo y partículas de agua enfriadas a menos del punto de congelación. Debido a las diferencias en la presión del vapor, las pequeñas gotas se evaporan mientras que ocurre la condensación en las partículas de hielo. El proceso continúa hasta que la corriente ascendente de aire no puede sostener las partículas, pudiendo éstas chocar con otras en su caída y combinarse con ellas para formar gotas más grandes. Ocurre otra condición para la formación de gotas de lluvia cuando las gotas calientes y frías se mezclan dentro de una nube. Nuevamente, debido a las diferencias en la presión del vapor, las gotas calientes se evaporan y las frías aumentan de tamaño y de peso.

Cuando las gotas de lluvia se congelan al caer a través del aire frío (como puede suceder bajo un frente caliente), se forman pequeñas esferas de escarcha o hielo que son diferentes del granizo, el que ocurre casi exclusivamente durante las tempestades muy violentas. Los granizos se componen de capas que se producen como resultado de repetidas ascensiones y descensos, o al caer a través de una masa turbulenta de aire. Los granizos aumentan de tamaño cada vez que se condensa una capa de humedad, congelándose luego en su superficie. La nieve, otra forma común de precipitación, consiste de cristales y combinaciones de cristales en forma de copos, que se producen cuando ocurre la condensación abajo de las temperaturas de congelación.

El agua cae en la tierra en muchas formas, tales como lluvia, granizo, nieve y escarcha. Su movimiento subsecuente depende de la forma de su caída y del carácter de las plantas, tierras y materias que la reciben. Lo que ocurre al agua después de su caída en la tierra determina en grado considerable la severidad de las inundaciones y de la erosión, la cantidad y calidad de los recursos hidráulicos y la producción de cosechas.

La vegetación interpone sus hojas, ramas y desechos como barreras a la lluvia y a la nieve, en tal forma que sólo una parte de la precipitación llega a la tie-

rra que se encuentra debajo de ella sin interferencia alguna. La vegetación afecta así tanto la cantidad como la distribución de la precipitación que llega a la superficie de la tierra, y esa misma vegetación afecta en forma diferente, en ciertos aspectos, la lluvia y la nieve. Una parte de ellas pasa a través del dosel de vegetación sin impedimento alguno; pero si ese dosel es muy denso, la mayor parte pega en las hojas o ramas.

De la parte interceptada en esa forma, alguna se desborda por los puntos de escurrimiento, otra fluye a la tierra a lo largo de los tallos, y otra más se detiene y más tarde se evapora. La lluvia moja la superficie en que cae y sólo puede formar una delgada capa de agua antes de que comience a fluir hacia la tierra.

La nieve puede mojar la superficie en la que cae; pero ya sea que lo haga o no, puede amontonarse en una capa de considerable grueso sobre ella, lo que hace que la vegetación pueda contener mayor cantidad de nieve que de agua. La nieve se desprende de la vegetación resbalando de ella, proceso que a menudo se inicia por el viento, y derritiéndose. A menudo se encuentran pruebas abundantes de ambas cosas en los bosques, que se hacen visibles en los montones de nieve alrededor de las copas de los árboles y en la nieve que conserva las huellas de las gotas de agua que caen debajo de ellos.

La cantidad de precipitación interceptada por la vegetación y que luego se evapora es muy variable, dependiendo del tipo y severidad de la tormenta y de la clase de vegetación. Sin embargo, bajo las mismas condiciones de vegetación constituye un porcentaje de precipitación anual bastante constante. En varios lugares en donde se ha medido, la pérdida por intercepción es generalmente del 5 al 15% de las lluvias anuales.

Pueden disminuirse las pérdidas de agua causadas por la interceptación esparciendo o cambiando la vegetación, a fin de disminuir el volumen del dosel que forma. Si ese esparcimiento u otro cambio no disminuye seriamente la protección de la tierra que proporciona la vegetación, puede suministrarse a la tierra cierta cantidad adicional de agua sin peligro alguno.

En las Montañas Rocallosas, en Colorado, por ejemplo, se aumentó la acumulación de nieve en la tierra hasta un equivalente de 2 pulgadas de agua, removiendo toda la madera vendible de un bosque de pinos de poste. No se observaron efectos perjudiciales después del corte, tales como flujo de agua sobre la tierra o erosión, porque las lluvias de verano fueron leves y las tempestades de invierno sólo produjeron nieve; pero las pérdidas de interceptación no siempre pueden disminuirse impunemente. Son inevitables algunas pérdidas de esta clase cuando hay que proteger la tierra contra el impacto de la lluvia.

La lluvia que llega a la superficie de la tierra se absorbe total o parcialmente por ésta en el proceso de infiltración. La cantidad que penetra en la tierra depende de la cantidad de lluvia y de la receptividad o capacidad de infiltración de la tierra. Cuando la cantidad de lluvia excede de la capacidad de infiltración, el exceso de agua se convierte en flujo superficial que corre rápidamente a los arroyos. El flujo superficial es indeseable porque puede producir la erosión de la tierra, y también porque a menudo causa rápidas y abundantes crecientes en los arroyos durante las tormentas.

La erosión de la tierra cultivada es el resultado del suministro de agua a la tierra en proporción mayor a su capacidad de infiltración. Debido a las consecuencias perjudiciales del flujo superficial de agua, muchas prácticas de manejo de las tierras tienden a inducir una capacidad de infiltración tan alta como sea posible.

La capacidad de infiltración se determina por una combinación de factores, algunos de ellos naturales de la tierra y otros que resultan de las actividades relacionadas con el uso de la misma. La capacidad de infiltración es naturalmente mayor en tierras arenosas que en arcilla. Ordinariamente, mientras más fina es la contextura de la tierra es menor su capacidad de infiltración: pero los efectos de la textura se modifican grandemente con la adherencia o reemplazo de las partículas de tierra, así como por la estructura de la tierra bajo la superficie.

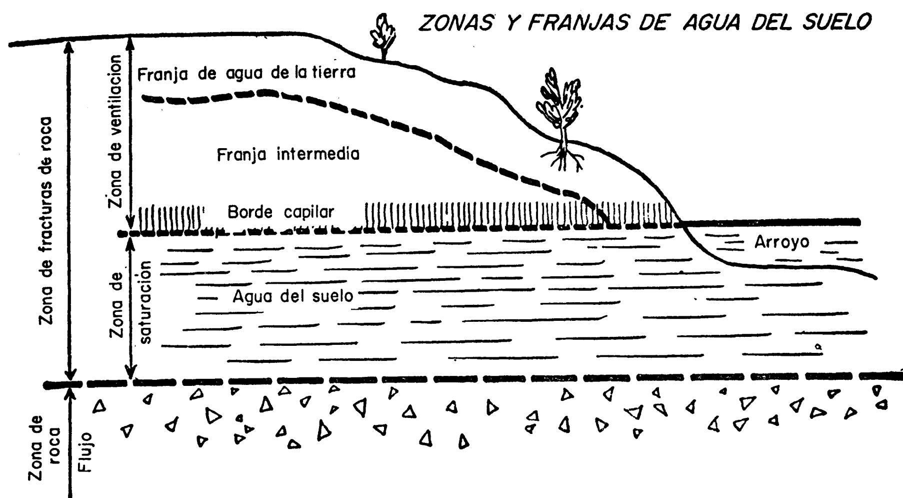
Los efectos de la estructura en la capacidad de infiltración aparecen cerca de la superficie de la tierra y dentro de ella en su perfil. Una tierra superficial que está bien dotada de materia orgánica, puede recibir ordinariamente mayor cantidad de agua que una tierra que consiste principalmente de substancias minerales. El mantenimiento de una estructura abierta reforzada con materia orgánica es uno de los objetos del abono con rastrojo y de otras prácticas de labranza que entierran residuos de plantas en la tierra. El fondo de arado, una capa de tierra compacta común en algunos campos que se han cultivado por largo tiempo, impide el flujo del agua hacia el interior, disminuyendo la infiltración en la superficie.

El agua de las nieves en fusión no difiere del agua suministrada por las lluvias después de que ha penetrado en la tierra. Difiere, sin embargo, en la forma en que llega a ella. El agua que escurre de la base de una capa de nieve fluye a la superficie de la tierra y carece de la fuerza de impacto de las gotas de lluvia. La tierra desnuda, por lo tanto, no se daña con el agua de las nieves en fusión que llega hasta su superficie. Una cubierta de nieve protege frecuentemente la tierra contra las heladas y, por lo tanto, mantiene una mayor capacidad de infiltración. A excepción de esto, los efectos del tratamiento de la tierra y del suelo son los mismos en la infiltración de agua de nieve o de lluvia.

La nieve es extraordinariamente susceptible a cambios mientras permanece en la tierra. El hombre puede controlar hasta cierto punto la cantidad, tiempo y proporción de suministro de agua de las capas de nieve que cubren la tierra. La nieve se esparce ante el viento cuando está cayendo sobre la tierra, y más tarde, antes de que se afirme. Ese esparcimiento lo causan las barreras de viento que producen una disminución local en su velocidad y que recojan nieve a cierta distancia en dirección del viento, y a menos distancia en sentido contrario a él. Esto explica el uso de las barreras de nieve a lo largo de las carreteras en las regiones de nevadas frecuentes. Cuando se erigen paralelamente a las carreteras, disminuyen la cantidad de nieve en ellas haciendo que una parte de la misma se amontone contra las barreras.

Una investigación exploradora en Utah demostró la posibilidad de retrasar la fusión de la nieve en las tierras montañosas barridas por el viento, haciendo que aquélla se esparciera. Se construyeron barreras de nieve a ángulo recto con la dirección general de los vientos de invierno. La nieve que se acumulaba del lado de donde venía el viento era más profunda que en los sitios vecinos no protegidos. Una vez que se había derretido toda la nieve no esparcida, quedaban en las acumulaciones 15 pulgadas de agua en forma de nieve. La nieve esparcida suministraba su agua a la tierra durante un período mayor que la no esparcida, contribuyendo en esa forma a las existencias de agua de la tierra y de los arroyos más tarde, durante la primavera y el verano. Así, cuando el viento esparce la nieve, puede ser posible disminuir el abundante flujo de primavera de los arroyos y aumentar los flujos menores más tarde durante el año.

La nieve que cae en la tierra está sujeta a la fusión y a la sublimación, que es la transformación de un sólido en vapor. La proporción de fusión queda influenciada por la cantidad de calor que recibe la nieve. La fuente de calor es el sol; pero además del calor recibido directamente de él, la nieve recibe también calor de la tierra que se encuentra debajo de ella, de los objetos calientes, tales como los árboles que se encuentran en su superficie y del aire caliente que pasa sobre ella. Si la nieve que se encuentra en la tierra recibe la sombra de los árboles o de cualquier otra cubierta, se intercepta una parte del calor del sol y la nieve se funde más lentamente que si estuviera completamente expuesta al sol. A primera vista esto sugiere que un bosque espeso sería más deseable que uno más abierto para prolongar la fusión de la nieve, pero el asunto no es tan sencillo. Las copas de los árboles interceptan mayor cantidad de nieve y generalmente se acumula menor cantidad de ella en la tierra a medida que la densidad de los bosques aumenta. Probablemente el máximo control sobre los suministros de agua procedentes de la nieve requiere



condiciones inferiores a la completa cobertura que puede suministrar un bosque. La condición deseable es aquella en que la mayor cantidad de nieve en la tierra se combina con la mayor cantidad de sombra. Es obvio que esas condiciones significan un compromiso entre la mayor acumulación de nieve y la sombra decreciente que resulta a medida que un bosque se tala más completamente.

El agua se evapora de la capa de nieve y los cristales de hielo sólido se subliman. Cuando la presión de vapor del aire sobre la nieve es menor que la de la superficie de ésta, el agua de la nieve se evapora. Cuando el punto de rocío queda abajo del punto de congelación, el agua se condensa en la nieve. Así, mientras la nieve permanece en la tierra puede perder agua hacia el aire o recibirla de éste. La pérdida por evaporación del agua de la nieve varía de un lugar a otro y de una estación a otra. Cerca de la cima de las Montañas Rocallosas, en Colorado, por ejemplo, se perdió 0.24 de pulgada de agua de una capa de nieve en un espacio abierto durante el invierno, y 1.99 pulgadas durante el período de fusión de primavera. En la Sierra Nevada de California, en contraste, las pérdidas por evaporación en un gran claro de un bosque, fueron en total de 0.75 de pulgada de diciembre hasta marzo, y de 0.69 de pulgada de abril a mayo.

El agua que ha penetrado en la tierra aumenta su contenido de humedad o se filtra a través de ella. Si la tierra está seca, el agua que penetra en ella moja las capas sucesivamente más profundas hasta la capacidad de campo, que es el contenido de humedad que debe tener cada capa antes de que el agua pueda filtrarse a través de ella. Cuando todo el perfil ha quedado saturado a la capacidad de campo, el agua adicional que penetra a la tierra se filtra al subsuelo y sale más tarde en los manantiales y escurre a los arroyos o aumenta las existencias del subsuelo en los valles.

El agua que se filtra a través de la tierra alimenta los arroyos por más tiempo y de modo más uniforme que el agua que fluye sobre ella. Por lo tanto, para la producción de toda clase de cosechas y para obtener el máximo control sobre el rendimiento del agua, las mejores prácticas para su utilización en la tierra son las que hacen que penetre en ella la mayor cantidad del líquido.

El agua retenida en la tierra después que ha cesado la filtración puede ser transpirada por las plantas o puede perderse por evaporación. Las plantas no pueden utilizar toda el agua almacenada en la tierra y sólo pueden secarla hasta el punto de marchitamiento, o sea el contenido de humedad en el cual la fuerza que retiene el agua en las partículas de tierra iguala a la fuerza máxima de absorción de agua de las raíces de las plan-

tas. Así como las tierras arcillosas pueden contener más agua a la capacidad de campo que las tierras arenosas, en igual forma el punto de marchitamiento de la arcilla es más elevado que el de la arena. Tanto el límite superior como el inferior de la gama de humedad disponible entre el punto de marchitamiento y la capacidad de campo, se determinan principalmente por la contextura de la tierra, pudiendo hacerse muy poco para extender esa gama por medio de prácticas de labranza.

La evaporación puede secar la tierra hasta abajo del punto de marchitamiento. En ese proceso la tierra se seca de la superficie hacia abajo, ya que toda el agua de la tierra que se pierde por evaporación debe subir a su superficie y pasar a través de ella. Ordinariamente la evaporación seca más la tierra a un pie de su superficie; pero si transcurre el tiempo suficiente sin que se añada agua, la tierra puede secarse a muchos pies de profundidad por ese solo proceso.

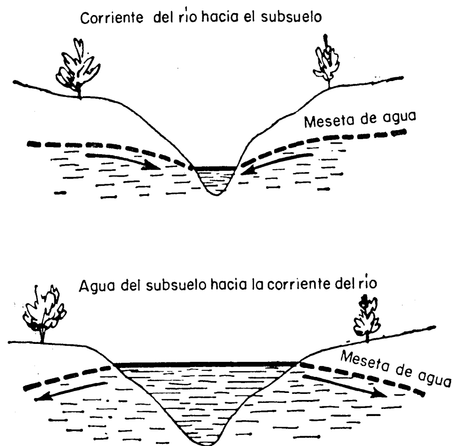
La evaporación y la transpiración, conjuntamente, atacan el agua de la tierra como consecuencia de cierto número de condiciones. Si la superficie de ésta se encuentra libre de plantas y queda densamente cubierta con una capa de desechos aislante, la pérdida por evaporación es menor que cuando la tierra exenta de vegetación se encuentra desnuda. Una tierra profunda pierde menos agua bajo una cubierta de plantas de raíces poco profundas que bajo aquellas plantas cuyas raíces penetran a toda su profundidad. Las tierras profundas completamente penetradas de raíces pierden más agua que las tierras superficiales penetradas en forma semejante. Cuando hay una meseta de agua dentro de la zona de raíces o a poca distancia debajo de ella, las capas inferiores de tierra pueden no secarse en forma perceptible, aunque se extraigan grandes cantidades de agua de las existencias de la tierra.

La evapotranspiración puede disminuirse de varios modos. Pueden usarse abonos protectores en la superficie de la tierra para disminuir la evaporación. Pueden removerse las hierbas de las tierras de cosecha mediante el cultivo o destruyéndolas por cualquier otro medio. Puede entresacarse la vegetación y disminuir así la evapotranspiración bajo ciertas condiciones de clima. Pueden cultivarse plantas con raíces superficiales en tierras profundas ocupadas previamente con plantas de raíces profundas. Sin embargo, hay ciertas limitaciones para disminuir las pérdidas por evaporación. Naturalmente, no es de desearse la disminución de la densidad de la cubierta de plantas en forma tal que la tierra quede insuficientemente protegida contra los deslaves de las tormentas y la erosión. La producción de ciertas cosechas necesita el riego, la siembra densa u otras prácticas que favorezcan el gran consumo de agua. Si la estación de sequía es larga y dura, el cambiar la cubierta de plantas puede tener muy poco efecto sobre la pérdida de agua.

Probablemente el punto más importante que hay que tener en cuenta en relación con la evapotranspiración, es que es un proceso natural que ocurre en donde quiera que hay vegetación. Aunque la evapotranspiración y otras pérdidas de agua debidas a la evaporación puede disminuirse, a veces mediante tratamientos de la tierra y de su cubierta, no pueden eliminarse por completo.

El agua que se infiltra en la tierra se conoce como agua subsuperficial y puede evaporarse de ella, puede ser absorbida por las raíces de las plantas transpirándose luego, o puede filtrarse hacia abajo hasta los depósitos subterráneos. El agua subsuperficial ocurre en una zona que se encuentra entre la superficie del suelo y los límites inferiores de las formaciones porosas de rocas conductoras de agua. Esta zona se designa como zona de fracturas de roca, y se subdivide en zona de ventilación y zona de saturación.

LA ZONA DE VENTILACIÓN se divide a su vez en tres franjas: La franja de agua de la tierra, la franja intermedia y el borde capilar. Las franjas varían en su profundidad y no están definidas en forma precisa por cambios físicos en la tierra, ocurriendo generalmente una transición gradual entre una franja y otra. Al considerar el movimiento del agua a través del perfil de la tierra, sin embargo, es conveniente delinear las zonas o franjas que tienen efectos diferentes en el movimiento subsuperficial del agua.

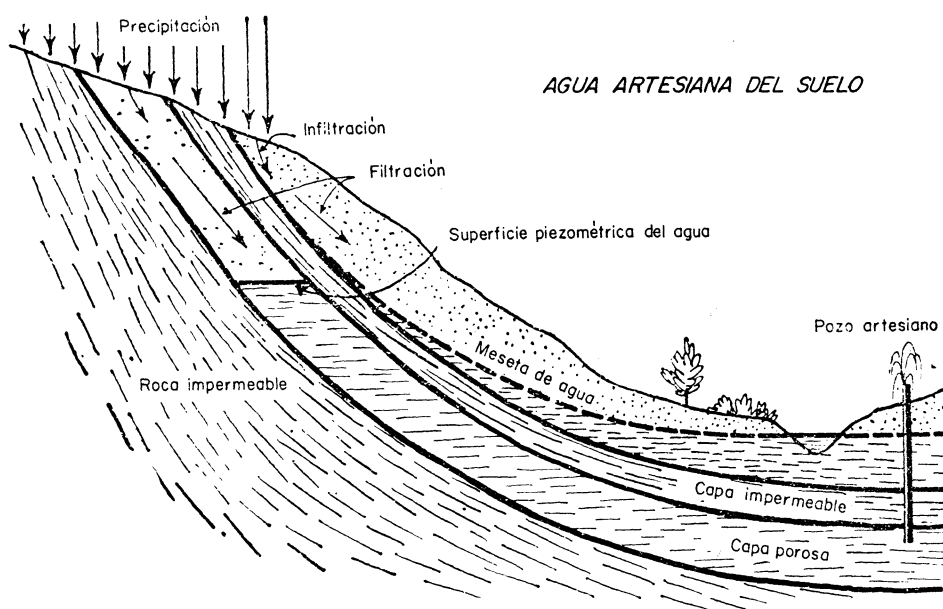


La franja superior o de agua de la tierra consiste en la capa superficial y del subsuelo de donde el agua vuelve a la atmósfera mediante la evaporación en la tierra y la transpiración de las plantas. A medida que el agua atraviesa la superficie y penetra a la franja, queda sujeta a los efectos de la gravedad y a la atracción molecular. La gravedad tiende a llevar el agua hacia abajo, y la atracción molecular tiende a conservarla en forma de una capa delgada sobre las partículas y en los diminutos espacios que existen entre ellas. Solamente cuando ha penetrado a la franja el agua suficiente para satisfacer los requisitos de almacenamiento debidos a la atracción molecular, comienza a filtrarse hacia abajo por gravedad. El agua de esta franja tiene especial importancia para la agricultura, porque suministra las existencias necesarias para todo crecimiento vegetativo. El agua que se filtra hacia abajo de la franja queda fuera del alcance de las raíces de las plantas y no puede contarse con ella para el procedimiento de crecimiento de las mismas. La profundidad de la franja de agua de la tierra varía con el tipo de ésta, así como con la vegetación, pudiendo existir diferencias de profundidad de unos cuantos pies hasta cincuenta pies.

El agua que pasa a través de la franja de agua de la tierra penetra a la franja intermedia y continúa su movimiento hacia abajo por gravedad. Como la franja de agua de la tierra, la franja intermedia contiene agua en suspensión por la atracción molecular. En esta franja, sin embargo, el agua en suspensión puede considerarse como en almacenamiento muerto, ya que no queda disponible para su uso. En el ciclo hidrológico esta franja sirve solamente para proporcionar un paso para el agua desde la franja del agua de la tierra al borde capilar. La franja intermedia puede variar de grueso desde cero hasta varios cientos de pies, y la parte más gruesa tiene un efecto significativo sobre el tiempo que el agua requiere para atravesarla.

El borde capilar queda inmediatamente debajo de la franja intermedia y sobre la zona de saturación. Contiene el agua que se conserva sobre la zona de saturación mediante atracción capilar. Su contenido de agua y el grueso del borde capilar dependen del tipo de material en donde se localiza ese borde. El material sedimentado puede extenderse dos pies o más sobre la zona de saturación. El material grueso de grava puede tener menos de una pulgada. Como en la franja intermedia, el agua se almacena también en el borde capilar. En el ciclo hidrológico proporciona también un pasaje para el agua que se mueve por gravedad desde la superficie hasta la zona de saturación.

La zona de saturación o agua del suelo, forma un gran depósito natural del que se alimentan los manantiales, arroyos y pozos. El agua que se mueve por gravedad a través de las franjas de la zona de ventilación, penetra a la superficie superior de la zona de saturación que se conoce como meseta de agua. Todos los poros y espacios de esta zona quedan llenos de agua. La profundidad de la zona depende de la geología local, que puede incluir depósitos sueltos de tierra y arcilla sin ninguna firmeza, así como formaciones de roca porosa arenisca o calcárea. Su límite inferior es el punto en que la formación de roca se vuelve tan densa que el agua no puede penetrar en ella. La zona puede variar de profundidad desde unos cuantos pies hasta cientos de pies, y se sabe de algunos ca-



sos en que se ha encontrado roca porosa a profundidades de más de una milla.

La zona de saturación es extremadamente importante, porque proporciona el suministro para todos nuestros pozos y el flujo normal y relativamente uniforme de nuestros arroyos. Actúa en forma semejante a un depósito superficial que recibe agua durante periodos de lluvia y que eleva el nivel de la meseta de agua en la superficie superior de la zona a medida que el agua se filtra desde arriba. Puede almacenar así grandes cantidades de agua, que debido a la lentitud de su movimiento a través de la zona se descarga relativamente uniforme.

La acción de la gravedad tiende a nivelar las superficies de la zona de saturación o de la meseta de agua. Como el movimiento del agua es relativamente lento a través de la tierra y formaciones rocosas, sin embargo, las frecuentes adiciones y consumos no permiten ordinariamente que la meseta de agua se convierta en una superficie nivelada.

Durante los periodos de escaso flujo, el nivel de la superficie del agua de un arroyo puede ser inferior al nivel de la meseta de agua. El agua del suelo se filtrará entonces en el arroyo y el nivel de la meseta de agua bajará hacia el arroyo en dirección del flujo del agua del suelo. Cuando el arroyo fluye durante ciertos periodos de tiempo a un nivel superior al de la meseta de agua, ocurrirá un escurrimiento en dirección opuesta, que tiende a elevar la meseta de agua. Debido a los constantes cambios que resultan del aumento de suministros o de consumos al agua del suelo, el nivel de la meseta de agua cambia constantemente.

Las formaciones geológicas causan también ciertas variaciones en la meseta de agua. Cuando ocurren capas impermeables es posible tener dos o más mesetas de agua a alturas diferentes o tener agua depositada debajo de una capa impermeable a presión hidrostática, que es la presión causada por el peso del agua que se encuentra a un nivel superior. En ocasiones ocurre una presión suficiente para hacer que el agua se eleve en un pozo sobre la superficie de la tierra, creando así un pozo que fluye de por sí o pozo artesiano.

Ocurren condiciones diferentes como resultado de las diversas formaciones geológicas, pero en el ciclo hidrológico las principales funciones de las zonas de agua del suelo son las siguientes:

1. *Zona de ventilación.*—Recibe y conserva el agua que usan las plantas en la franja de agua de la tierra y permite el movimiento hacia abajo del agua sobrante.

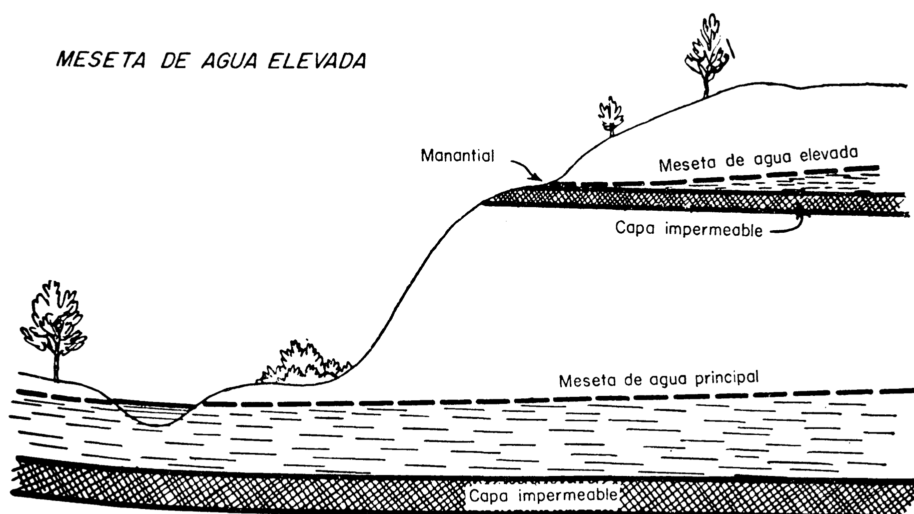
2. *Zona de saturación.*—Recibe, almacena y suministra una descarga natural reglamentada de agua a los pozos, manantiales y arroyos.

El desbordamiento ocurre cuando la precipitación que no tiene oportunidad de infiltrarse en la tierra fluye a través de su superficie y eventualmente gran parte de ella llega a los lechos de los arroyos que la conducen al océano. La parte de la precipitación que se infiltra en la tierra penetra hacia abajo a la meseta de agua, y llega también a los lechos de los arroyos a través de los manantiales o escurrimientos. En términos generales, el desbordamiento se compone de agua, tanto del flujo superficial como del flujo de los escurrimientos, y constituye una parte importante del ciclo hidrológico, ya que en promedio aproximadamente un 20% de toda la precipitación llega a los océanos en los arroyos y ríos.

Esta agua concierne directamente a una gran parte de nuestro desarrollo agrícola e industrial. El riego, los programas de energía hidráulica, los suministros de agua para usos domésticos e industriales, la transportación del agua y la disposición de las aguas negras, dependen, en mayor o menor grado, del flujo de los arroyos. A fin de utilizar estos recursos a su máximo y también para evitar efectos desastrosos durante los periodos de flujo máximo, es necesario conocer los factores que afectan el volumen y proporción de ese flujo, a fin de que puedan hacerse cálculos que aseguren un desarrollo razonable en lo futuro.

La cantidad y proporción de la precipitación afectan el volumen del flujo máximo de un arroyo. Aunque el hombre no ejerce todavía un control positivo sobre la precipitación, pueden hacerse cálculos de los rendimientos de agua que permitan un racionamiento adecuado para las aplicaciones que utilicen el flujo de los arroyos. En forma semejante, la temperatura puede influenciar el desbordamiento. Durante periodos de baja temperatura puede acumularse la precipitación en las áreas septentrionales en forma de nieve. Los rápidos aumentos de temperatura, especialmente cuando el suelo está helado, producen a menudo un desbordamiento superficial excesivamente alto.

Las características físicas de una vertiente hidráulica indican lo que puede esperarse en términos de volumen total y máxima proporción de desbordamiento. Una vertiente hidráulica relativamente impermeable y con fuertes pendientes



puede perder la mayor parte de la precipitación que cae en ella; pero una vertiente con buena tierra permeable que se encuentre debidamente protegida, puede permitir que se infiltre en la tierra un elevado porcentaje de la precipitación.

En el primer caso se esperarían grandes volúmenes y proporciones máximas de flujo, mientras que en el segundo el flujo máximo sería considerablemente menor, aunque el volumen producido en un largo periodo de tiempo no disminuiría en forma considerable. Las fuertes pendientes producen una proporción máxima de desbordamiento, pero tienen poco efecto en su volumen. Una buena cubierta vegetal y una tierra bien conservada pueden disminuir considerablemente la proporción del agua que llegue a los lechos de los arroyos. No sólo retrasan el flujo superficial, sino que aumentan también el volumen que pasa a través de la tierra y llega a los arroyos como flujo de escurrimiento.

Los lagos, lagunas, pantanos y presas actúan también para nivelar las proporciones máximas de flujo en los arroyos que se encuentran más abajo. Generalmente hay poca pérdida del flujo al agua del suelo en los pantanos y lagos naturales, ya que ordinariamente su existencia se debe a que hay muy poca o ninguna filtración en la tierra.

Entre los muchos otros factores que afectan el desbordamiento en mayor o menor grado se encuentran la presión barométrica, que puede afectar el flujo de los manantiales y pozos artesianos; el escurrimiento de los lechos de los arroyos, y la evaporación de los mismos. El grado en que hay que tener en cuenta estos factores depende del problema especial que se estudie. No hay dos arroyos o vertientes hidráulicas semejantes, y cada uno de ellos tiene sus propias características.

Aunque la cantidad de agua que nos interesa en el ciclo hidrológico permanece esencialmente constante, su distribución y ocurrencia cambian continuamente. El agua es un recurso natural de carácter único, ya que puede utilizarse en mayor extensión por el hombre, quedar sujeta a los procesos naturales y volver al hombre a través del ininterrumpido ciclo hidrológico.

WILLIAM C. ACKERMANN *es Jefe de la Sección de Hidrología de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Investigaciones Agrícolas.*

E. A. COLMAN *es Jefe de la División de Conservación de Vertientes Hidráulicas en la Estación Experimental de Bosques y Praderas del Servicio Forestal de California.*

HAROLD O. OGROSKY *es hidrólogo del Servicio de Conservación de Tierras en Washington, Distrito de Columbia, en donde ha trabajado desde 1935.*

El agua de los ríos y arroyos

W. B. Langbein y J. V. B. Wells

LOS RÍOS Y ARROYOS de la nación son las fuentes principales de nuestras existencias de agua, el 75% del agua usada por las ciudades y pueblos y por los agricultores para riego, el 90% del agua dulce usada por la industria y casi toda el agua usada para la generación de energía hidroeléctrica.

Las presas y depósitos se han convertido en características principales del paisaje norteamericano. Almacenan y ahorran el agua de las inundaciones para cuando la necesitan las ciudades y para usarla en riegos, energía y navegación. La capacidad de los depósitos en 1955 fue mayor de 278 millones de pies-acre, o sea lo suficiente para almacenar aproximadamente el 20% del rendimiento anual promedio de los ríos y arroyos de los Estados Unidos de Norteamérica.

El agua superficial, la que se encuentra en la superficie de la tierra, representa el desagüe de ésta. La vemos en el flujo de los ríos y arroyos y en los lagos y estanques. El flujo superficial se deriva en parte de las lluvias que llegan a las corrientes de agua por las pendientes de las tierras.

Una parte de las lluvias producidas por las tempestades que se absorben por la tierra se convierte también en agua superficial, mediante su descarga en for-

ma de escurrimiento de tiempo lluvioso en riachuelos y torrentes. Estos son los componentes del desbordamiento directo producido por las crecientes de inundación en los arroyos.

La parte de lluvia o de nieve en fusión que penetra profundamente se convierte en reemplazo del agua del suelo y se descarga lentamente en los arroyos. El flujo del agua del suelo se convierte en el flujo básico que conservan los arroyos durante el buen tiempo.

Cuando hablamos de agua superficial nos referimos al flujo de los arroyos independientemente de su origen. Los lagos y depósitos pueden considerarse como un flujo almacenado. Nos referimos también al flujo de los arroyos como flujo en los lechos naturales, aunque éste haya sido regulado; pero cuando deseamos discutir el flujo en estado natural, usamos comúnmente la palabra "desbordamiento" para describir el agua removida de la tierra a través de los ríos y arroyos.

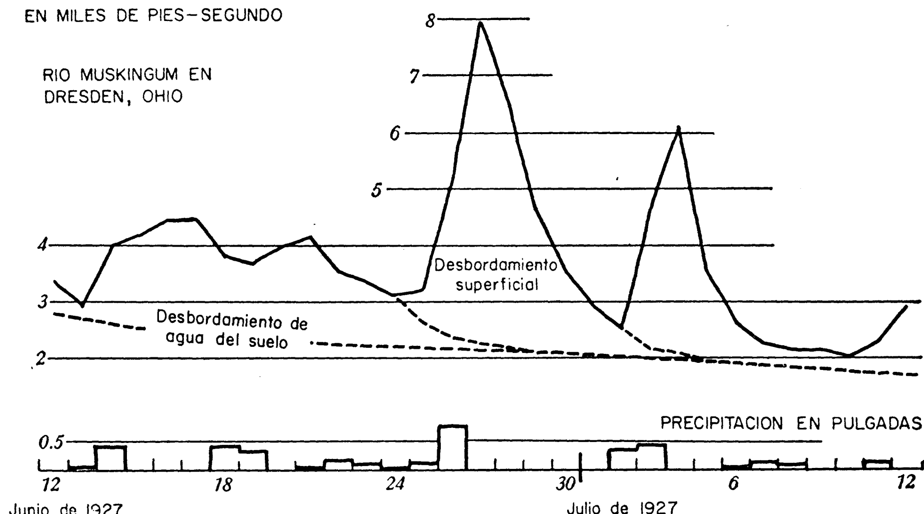
No toda la precipitación se remueve de la tierra. La que moja a ésta y a la vegetación se seca poco tiempo después de cada lluvia y nunca queda disponible como desbordamiento. Alguna parte de ella se almacena en la tierra, en donde cubre las necesidades de la vegetación. La evaporación directa y la transpiración de la vegetación ejercen una especie de prioridad sobre la precipitación. El desbordamiento es sólo un excedente de las necesidades ejercidas por los procesos de evapotranspiración, y como tal varía en mayor grado que la precipitación misma. En esa forma, una doble variación de la precipitación, ya sea de un año a otro o de un lugar a otro, puede producir una cuádruple variación en la cantidad de desbordamiento.

El desagüe o área de captación es la unidad hidrológica empleada para la comparación de datos del flujo de los arroyos. Las proporciones de ese flujo se miden ordinariamente a base de pies cúbicos por segundo. Los volúmenes de flujo en un periodo de tiempo dado se expresan generalmente en términos de pies-acre. Para comparaciones entre arroyos diferentes es conveniente expresar las cifras en términos del área de desagüe, proporciones en pies cúbicos por segundo por milla cuadrada o volúmenes en pulgadas de profundidad. El desbordamiento en pulgadas es la altura a que quedaría cubierta un área si toda el agua desaguada de ella en un periodo determinado se distribuyera uniformemente en su superficie. Ese término es especialmente útil para comparar el desbordamiento de la precipitación, que se expresa también ordinariamente en pulgadas. El flujo de los arroyos es la única parte del ciclo hidrológico en la que el agua queda confinada en tal forma que haga posibles las medidas directas. Todas las demás medidas en ese ciclo hidrológico, tales como la precipitación y la humedad de la tierra, son, en el mejor caso, sólo muestras inadecuadas de un todo.

La Inspección Geológica hace observaciones sobre el flujo de los arroyos con toda regularidad por medio de un total aproximado de 6,500 estaciones de aforamiento situadas en los ríos principales y en gran número de sus tributarios. La red de estaciones de aforamiento abarca todos los estados, pero la densidad de la cobertura tiende a reflejarse en el valor o el volumen del agua, así que hay grandes áreas (principalmente en el Oeste) y pequeños arroyos (en todas las regiones del país), en donde el número de esas estaciones de aforamiento es inadecuado para proporcionar una descripción satisfactoria de la ocurrencia del desbordamiento.

Debido al carácter errático de las inundaciones y las sequías, que constituyen factores clave en la preparación de proyectos de desarrollo de agua, es esencial el mantenimiento de observaciones continuas de rutina si se quiere estar preparado cuando ocurran esos acontecimientos. La información obtenida en las estaciones se publica por la Inspección Geológica en una serie de informes sobre el suministro de agua. Esos informes dan anualmente la descarga y área promedia de los ríos en las estaciones de medición, así como los extremos de altas y bajas de esa decarga cada año.

El aforo de los arroyos es sencillo en principio, pero los diversos detalles que comprende y la necesidad de prestarle una atención absoluta hacen de esa materia un asunto para especialistas.



Las operaciones en una estación de medición fluvial consisten de dos partes iguales: La obtención de un registro de etapas, llamado registro de altura de aforo, y el empleo de medidores de corriente para definir la relación de etapa a descarga, llamada relación de etapa-descarga.

Puede obtenerse un registro de altura de aforos por medio de lecturas periódicas (tales como dos veces al día o diariamente) de los medidores, o por medio de registradores automáticos de etapas de agua que proporcionan un registro gráfico continuo de las mismas.

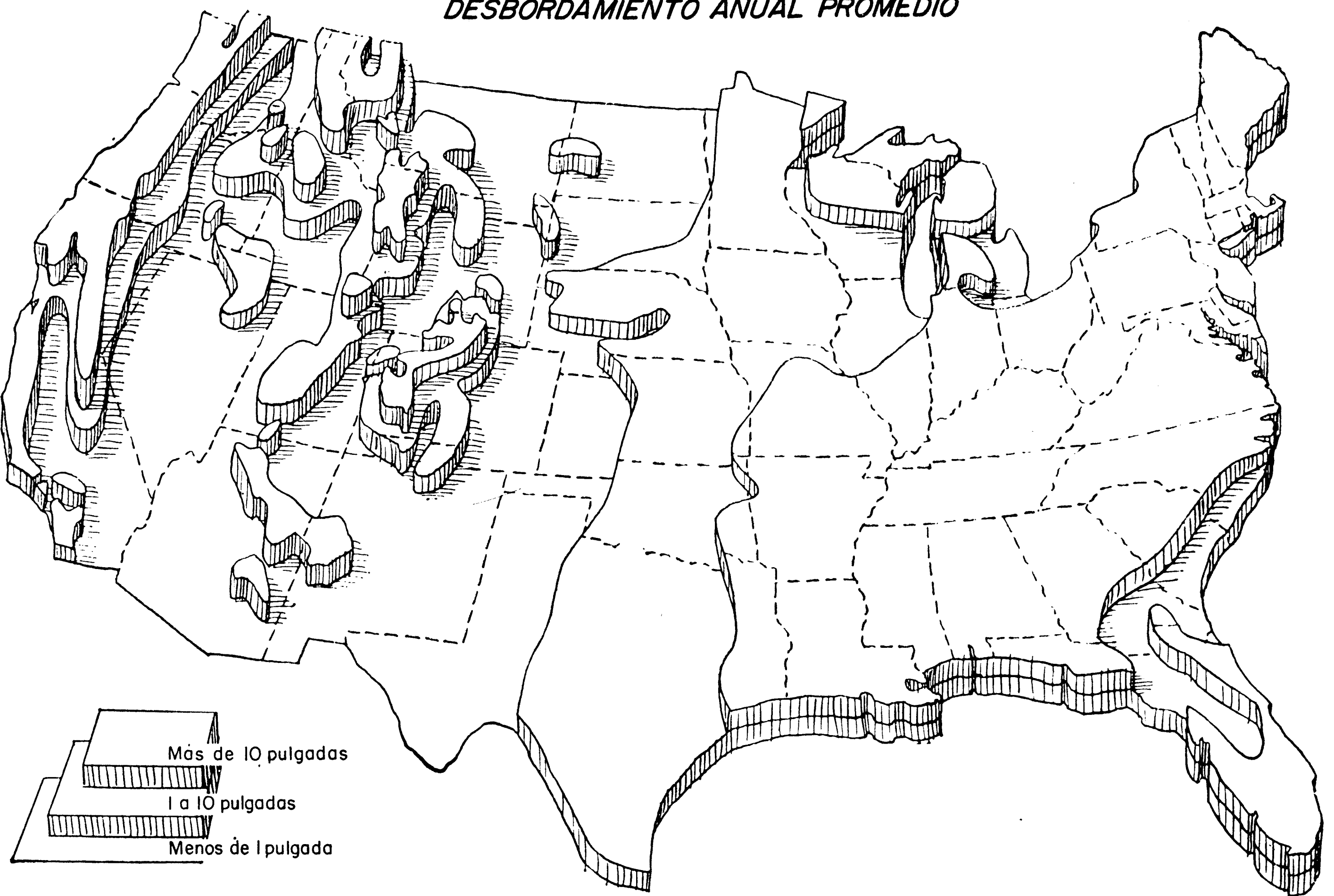
Los medidores que un observador lee periódicamente difieren en su construcción. Algunos, conocidos como medidores de vara, consisten de una escala graduada fija al soporte de un puente o en la ribera de río en posición tal que permita leer la altura de la superficie del agua directamente en la escala. Esta se gradúa ordinariamente en pies y décimos de pie. Otros tipos de medidores no registradores consisten en contrapesos suspendidos de alambres o cadenas que se bajan de un puente hasta que la parte inferior del contrapeso toca la superficie del río, habiendo una escala en la que puede leerse directamente la altura del agua, que corresponde a la posición de la parte inferior del contrapeso.

Los medidores registradores están encerrados ordinariamente en un abrigo construido sobre un pozo de medición, que se construye a lo largo de la ribera de los ríos o se fija a uno de los soportes de un puente y se comunica con el río en sí por un tubo que se llama tubo de admisión, a fin de que la superficie del agua en el pozo sea igual a la del exterior.

El instrumento registrador consiste de dos elementos: un mecanismo de relojería, que en la mayoría de los instrumentos se encarga de mover el papel de registro a una velocidad constante predeterminada (comúnmente de 2.4 pulgadas diarias), y el flotador y su cable, destinados a mover una pluma o lápiz a través del papel en dirección perpendicular al movimiento del mismo producido por el mecanismo de relojería y en cantidad proporcional al ascenso o descenso del flotador producido por las fluctuaciones del nivel de agua en el pozo.

La transferencia de los registros de etapa a los de descarga se hace por medio de la relación de etapa-descarga. En algún punto a lo largo de un arroyo, una proporción de flujo dada corresponde muy de cerca a una etapa dada, y puede decirse que en ese punto existe una relación fija de etapa-descarga. La confi-

DESBORDAMIENTO ANUAL PROMEDIO



guración del río que determina esa relación se llama control. La relación se precisa empleando el medidor de corriente para apreciar la proporción del flujo en cierto número de etapas del río. Generalmente se procura tomar una cantidad de medidas suficiente para incluir las etapas inferiores y superiores que hayan ocurrido, así como las intermedias. El resultado de los aforos se compara con las etapas que ocurrieron durante las mediciones para definir la curva de etapas en cada estación.

LA CURVA DE ETAPAS sólo puede permanecer constante en ciertas localidades excepcionales. La acción del flujo del agua, especialmente durante las inundaciones, y la acción del hielo en el fondo y en los lados de los ríos, cambia las propiedades hidráulicas de los lechos y produce cambios correspondientes en esa relación. Por lo tanto, se hacen frecuentes mediciones en cada estación de aforo para descubrir los cambios en las etapas o para confirmar su constancia, si no ha ocurrido ningún cambio.

En la mayoría de los ríos, la parte del bajo nivel de agua de la etapa (control de bajo nivel de agua) se afecta con los cambios menores o locales del lecho, mientras que las partes de alto nivel de agua permanecen relativamente constantes. Los controles de alto nivel de agua resultan de la totalidad del lecho y nivel de inundaciones sobre una considerable extensión de una gran estructura; por ejemplo, un puente, cuya configuración general y dimensiones no pueden quedar seriamente afectadas más que por las graves inundaciones. Cuando las mediciones de descarga muestran que ha ocurrido un cambio, se calcula otra curva de etapa.

Las medidas de descarga se hacen por medio del medidor de corriente, cuyas primeras aplicaciones datan de 1790. Hay dos diseños generales, el tipo de hélice y el tipo de copas. El tipo hélice se usa generalmente en el continente europeo; pero en los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y la Gran Bretaña, se utiliza únicamente el tipo de copas. La rotación del medidor se debe a la diferencia de presión del agua en movimiento sobre los lados opuestos de las copas. Estas giran a una velocidad proporcional a la del agua.

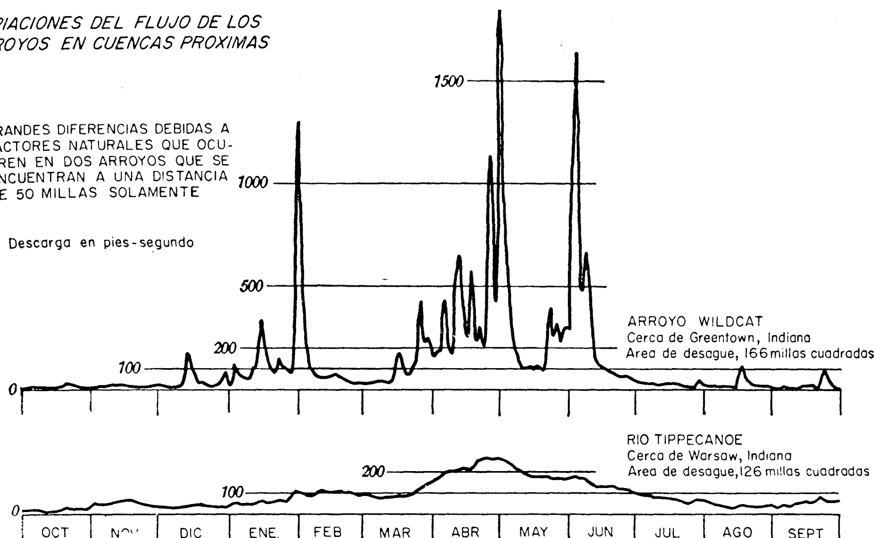
El medidor moderno aprovecha en su diseño la experiencia del personal de la Investigación Geológica y de otros durante muchos años. Puede medir velocidades de 0.2 a 20 pies por segundo. Es de construcción muy fuerte y se desmonta fácilmente para su limpieza, conservando su calibración aun con el maltrato consiguiente de las inundaciones. Puede usarse en aguas turbias sin que lo perjudique el sedimento.

La descarga de un arroyo es igual al producto de la sección de su área por su velocidad promedia. Por lo tanto, cuando se hace una medición de descarga, se mide también el área seccional del río, lo que se hace sondeando el fondo de la corriente a intervalos fijos a través de la misma, desde una ribera hasta la opuesta.

Las medidas de descarga se hacen de varios modos. A menudo pueden vadearse los ríos durante las etapas bajas, y en las etapas de inundación el medidor se suspende de un cable y se toman las medidas desde un puente o desde un carro movido por un cable especial.

Durante las inundaciones se encuentran condiciones de medición que requieren toda la capacidad de los ingenieros. A menudo los ríos son profundos y el agua se mueve rápidamente, habiéndose encontrado velocidades de 20 pies por segundo (13.5 millas por hora), y profundidades hasta de 50 pies o más. En esas condiciones necesita equipo especial para efectuar las mediciones. Se emplean sondas con contrapesos de 100 a 200 libras, con grúas portátiles diseñadas especialmente para bajarlos y levantarlos. (En Viscksburg, en el Río Mississippi, se emplean contrapesos de 300 libras).

Aun con ese equipo especial no es fácil obtener mediciones de la descarga de los ríos durante las crecientes. Muchos de los arroyos más pequeños crecen y bajan tan rápidamente que puede ocurrir la creciente antes de que el ingeniero llegue a la estación de aforo. Además, es muy raro que ocurran crecientes en un solo arroyo, y es más probable que todos los arroyos de las regiones circunvecinas tengan flujos elevados, y esas

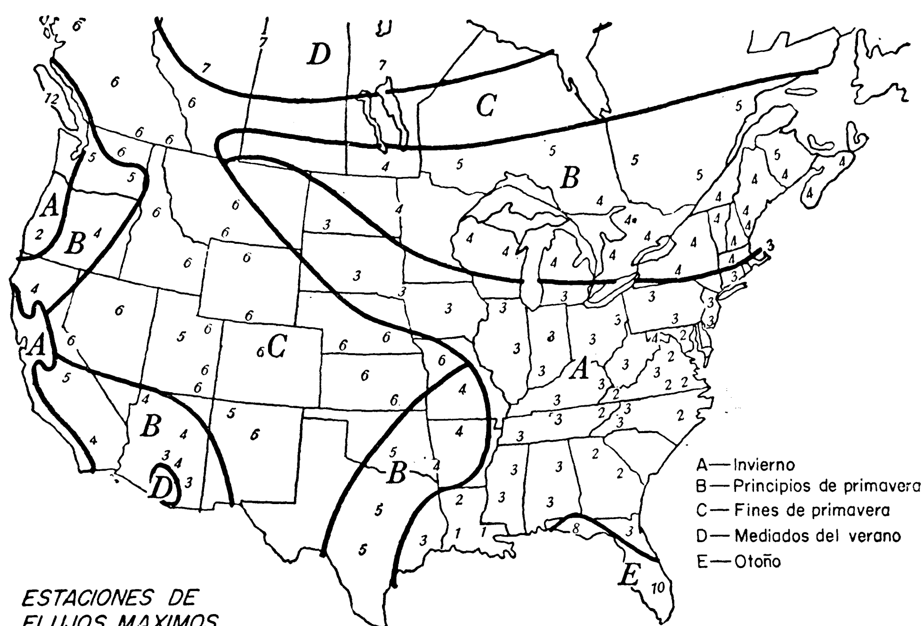


crecientes no duran el tiempo suficiente para que los ingenieros puedan tomar mediciones de todas ellas, siendo posible, inclusive, que los deslaves de las carreteras impidan que lleguen a las estaciones. Aun si pudieran hacerlo durante el periodo máximo de una creciente, el arroyo crecido podría llevar tanto desperdicio que podría arrancar el medidor de corriente o podría destruirse el cable o puente desde donde se toman las mediciones. Por lo tanto, a pesar de los valientes esfuerzos de los aforadores, no pueden obtenerse datos de todas las crecientes por medio del medidor de corrientes. Esto ha hecho que los ingenieros empleen métodos indirectos para calcular la descarga de un arroyo en su periodo máximo.

El principal sistema indirecto de determinación se conoce como método de declive-área. La fricción retrasa el flujo de un arroyo hacia abajo del mismo. Durante un flujo normal en un lecho uniforme, existe un equilibrio entre la fuerza de gravedad y la fuerza retrasadora de la fricción, ya que de otro modo el flujo tendería a acelerarse de acuerdo con la ley de la caída de los cuerpos libres.

Por medio de los experimentos y de la práctica se ha encontrado que la fórmula Manning es la relación más sencilla y práctica para determinar la velocidad de un arroyo: La velocidad promedia es producto de la fricción, de la profundidad y del declive. Por lo tanto, si poco tiempo después de que ha ocurrido una creciente el ingeniero puede inspeccionar un sitio adecuado para obtener datos tales como anchura, área transversal, profundidad promedia y declive de la superficie del agua, puede calcular su velocidad promedia. Se seleccionan los coeficientes de fricción o de asperezas de acuerdo con la condición del lecho. Los valores de este coeficiente varían relativamente poco comparados con otros facteres hidráulicos, y actualmente se encuentran bastante bien establecidos como resultado de una gran experiencia. El ingeniero hidráulico que ha tenido práctica, no tendrá dificultad para establecer un coeficiente de aspereza razonable para cada condición del lecho. Una vez computada la cifra de la velocidad promedia, la descarga se deriva sencillamente en forma del producto del área transversal del arroyo.

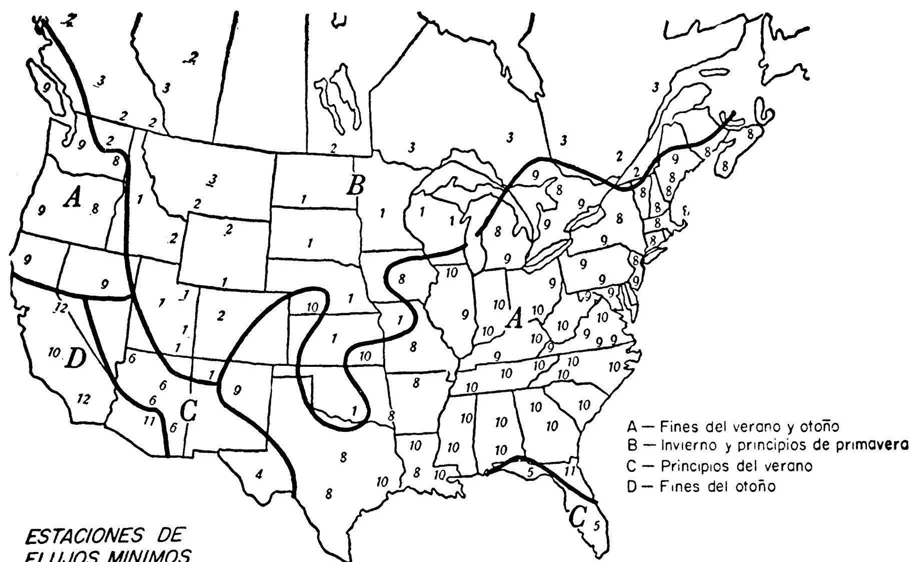
El desbordamiento anual en los Estados Unidos de Norteamérica varía de más de 80 pulgadas, en la "selva lluviosa" de las Montañas Olímpicas en Washington, a menos de un cuarto de pulgada en los desiertos de Arizona. Ese desbordamiento es bastante uniforme en



todo el oriente húmedo, pero es extremadamente variable en el Oeste. Una característica sobresaliente en la distribución del desbordamiento en todo el país es la transición de Este a Oeste sobre las Grandes Llanuras. Estas amplias características reflejan generalmente las normas climatológicas del país. La precipitación establece el nivel superior de su total como origen del flujo de los arroyos; pero los factores climatológicos asociados a la temperatura, controlan la cantidad de precipitación que se pierde por evapotranspiración. Mientras más elevada es la temperatura, mayor es la pérdida. Esto hace que una precipitación anual de 20 pulgadas cause más desbordamiento en una región en que la temperatura anual es de 50° F. que en otra en la que la temperatura es de 70° en promedio.

Las características del terreno afectan también la cantidad y distribución del desbordamiento. El relieve de la tierra ejerce considerable influencia sobre la ocurrencia del mismo. Los isogramas que se muestran en la tabla relativa delinean las montañas occidentales. El bien conocido aumento en las lluvias y la consiguiente disminución de la temperatura, de acuerdo con la altura, producen un marcado aumento en el desbordamiento de las altas zonas montañosas. La naturaleza hidrológica de una cuenca de desagüe se refleja en el comportamiento del flujo de los arroyos. La característica más sensible es la oportunidad, o sea el tiempo en el cual el desbordamiento de una tormenta se descarga desde la cuenca.

En algunas cuencas el manto de tierra y las rocas que se encuentran debajo de él tienen una gran capacidad para la penetración y almacenamiento del agua del suelo, que fluye después a los arroyos en proporción relativamente uniforme. Por lo tanto, puede mantenerse perfectamente el flujo de los arroyos durante los periodos de tiempo favorable; pero, por otra parte, el flujo de los arroyos de las cuencas con mantos de tierra poco profundos que ocurren sobre rocas impermeables o capas sólidas, pueden disminuir rápidamente de una concentración máxima de crecientes a un flujo bajo o aun a la ausencia del mismo entre tormentas. Sin embargo, y excepto bajo condiciones extremas, los factores de oportunidad y almacenamiento del suelo sólo afectan ligeramente el volumen total de desbordamiento.



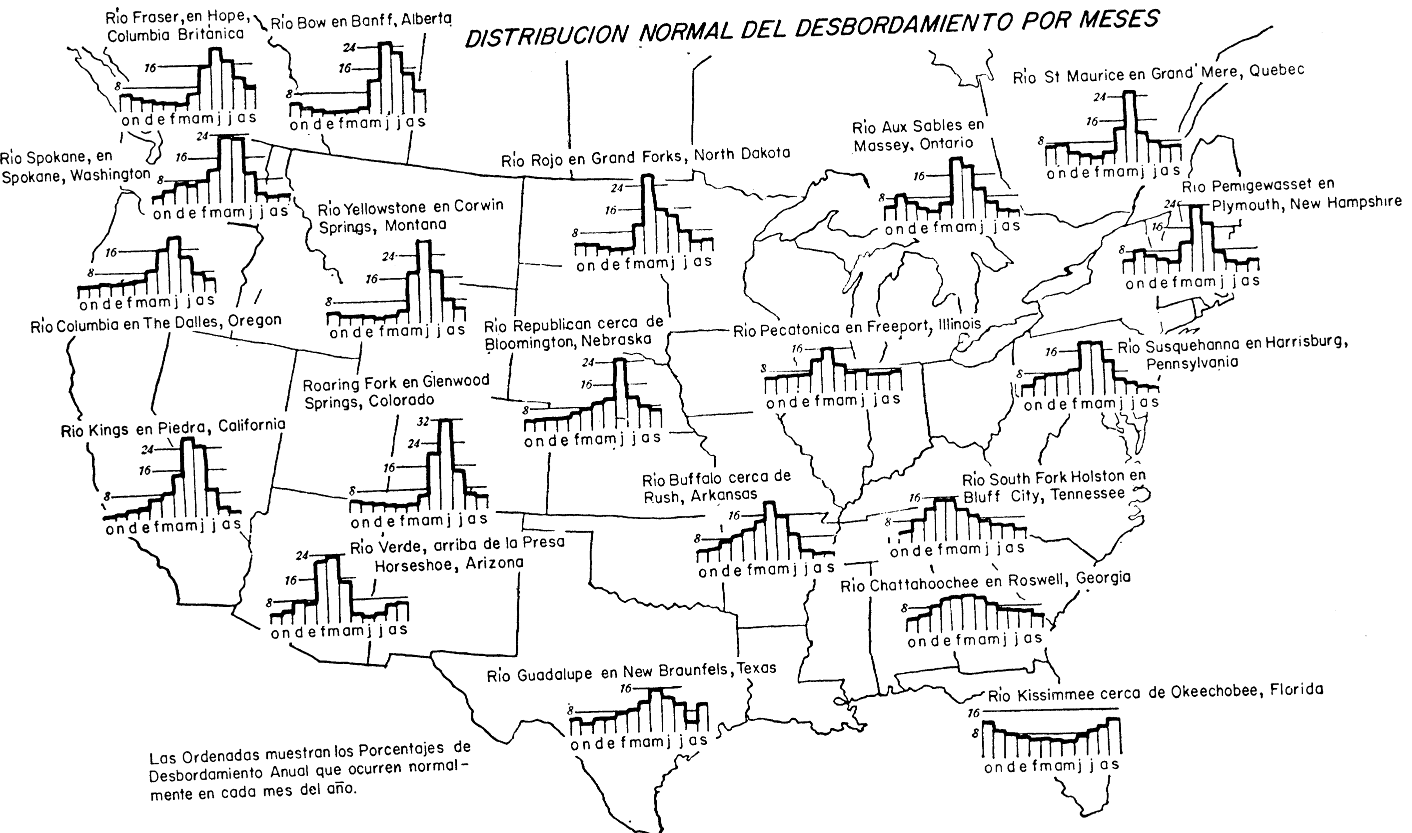
En los hidrogramas de dos cuencas cercanas una a otra en Indiana, que se dan al final de este capítulo, pueden observarse los notables efectos que las diferencias de capacidad de almacenamiento subterráneo tienen en las características de desbordamiento. La cuenca de Wildcat Creek tiene un fondo de derivación glacial relativamente impermeable, con baja proporción de admisión y poca capacidad de almacenamiento. La cuenca del río Tippecanoe incluye varios lagos y tiene un grueso fondo permeable de depósitos glaciales, capaces de absorber, almacenar y liberar el agua en forma notablemente uniforme. El flujo del río Tippecanoe consiste principalmente de desbordamiento básico.

El efecto principal de la geología en el desbordamiento anual parece ser doble:

El primero es el efecto sobre la evapotranspiración, que en general se determina por el clima. Ciertas condiciones locales favorecen la pérdida de agua, mientras que en otros sitios las condiciones físicas locales protegen el agua del suelo contra pérdidas durante la demora entre la precipitación y el desbordamiento. Una tierra permeable o manto rocoso puede absorber la lluvia con gran facilidad y dejar que se filtre a tales profundidades que el agua almacenada quede eficazmente aislada de la evaporación y de la transpiración. El agua llega entonces a la meseta de agua y se descarga eventualmente en los arroyos. Se encuentra un ejemplo característico de este efecto en las colinas arenosas de Nebraska, y existe una situación análoga en Long Island, en donde, sin embargo, el agua del suelo fluye directamente al mar.

Ocurre un efecto distinto en los arroyos montañosos del sur de California. Las cuencas de drenaje que se clasifican, de acuerdo con pruebas geológicas, como de mayor absorción y retención, producen el desbordamiento anual más bajo para una cantidad dada de lluvias anuales, y viceversa. Aparentemente las cuencas que tienen menores cualidades de absorción se desprenden rápidamente de la lluvia y almacenan poca humedad en la tierra para su transpiración subsecuente. Por otra parte, cuando ocurren altas capacidades de absorción juntamente con una elevada capacidad de humedad, se obtiene un abundante suministro de humedad que queda disponible para la transpiración y que actúa para disminuir el desbordamiento.

El segundo efecto principal de la geología sobre el desbordamiento se origina



Las Ordenadas muestran los Porcentajes de Desbordamiento Anual que ocurren normalmente en cada mes del año.

en una disparidad que ocurre en algunos lugares entre las divisiones topográficas y freáticas (o de agua del suelo).

El desbordamiento se computa ordinariamente en términos de pulgadas de profundidad basándose en el área superficial comprendida en la división topográfica. Sin embargo, los sumideros y manantiales que ocurren en terrenos de piedra calcárea o de lava pueden modificar en tal forma el sistema de desagüe que el flujo en las corrientes de desagüe más pequeñas tenga poca relación con la topografía local. El movimiento del agua del suelo en la lava permeable puede quedar controlado por las capas subterráneas anteriores a la lava más bien que por la superficie actual. Puede ocurrir también el pirateado del agua del suelo en terrenos de piedra calcárea, cuando un canal de salida tiene acceso al agua que se origina en otra cuenca de desagüe superficial. El agua pirateada en esta forma aparece en el flujo de los arroyos más grandes con lechos profundos, o en forma de manantiales.

En sentido regional, por lo tanto, la piedra calcárea o la lava no afectan necesariamente el volumen total de desbordamiento, sino sólo su distribución entre una corriente de desagüe y otra. Se encuentran ejemplos característicos del efecto de los terrenos calcáreos en la ocurrencia del desbordamiento en el condado de Comal, Texas, en Missouri y en otros lugares.

Los arroyos que fluyen hacia el Este en la región de las Montañas Negras, de South Dakota, pierden un gran volumen de agua al pasar a través de las escarpadas gargantas que conducen a los valles intermontañosos de las grandes llanuras lejanas. El agua desaparece en las cuevas y sumideros de los enormes mantos calcáreos volteados hacia arriba que bordean las rocas cristalinas de las Montañas Negras y que cruzan los arroyos que fluyen hacia afuera. El agua devuelta en esta forma a los terrenos calcáreos se descarga hacia abajo en el declive, pero no necesariamente en la misma cuenca.

Un ejemplo de los efectos de la topografía y geología en el desbordamiento de una región árida se encuentra en la parte de las Altas Llanuras al sur del río North Platte, que se encuentra, aproximadamente, a los 102° de longitud Oeste y se extiende hacia el Sur casi hasta el río Pecos. El desbordamiento en esa región es muy bajo, menor de 0.25 de pulgada anual en una área en donde el clima indicaría un probable desbordamiento de casi una pulgada. Las Altas Llanuras son el remanente de una gran llanura fluvial de la era terciaria que se extendía desde las Montañas Rocallosas, en el Oeste, hasta las tierras bajas centrales. Son características del relieve de las Altas Llanuras, las depresiones circulares que varían en diámetro desde unas cuantas varas a una milla, y en profundidad, desde unas cuatas pulgadas hasta 30 ó 40 pies. Después de las lluvias el agua se almacena en esas cuencas y se disipa por evaporación o filtración hacia abajo hasta la meseta de agua. Unas cuantas cuencas más profundas contienen cantidades variables de agua en forma perenne.

En las cuencas superiores de los ríos Brazos y Colorado, en Texas y New Mexico, casi 21,000 millas cuadradas de las Altas Llanuras se consideran como no contribuyentes en lo que se refiere al flujo superficial. Debido a lo plano de ellas y a la falta de un sistema superficial de desagüe, las Altas Llanuras ofrecen la oportunidad aproximadamente perfecta para la casi total disipación de la precipitación por medio de la evapotranspiración. El desbordamiento anual y la recuperación de agua del suelo sólo llegan a una fracción de pulgada. El agua del suelo se descarga por medio de escurrimientos y manantiales en las orillas de las altas llanuras.

Los terrenos volcánicos se asemejan a grandes esponjas y es sorprendente su capacidad de absorción del desbordamiento. Cientos de millas cuadradas de las llanuras de lava de Idaho, Oregon, California y New Mexico no tienen desbordamiento alguno. En algunos lugares no existe desbordamiento aunque las lluvias puedan llegar a 100 pulgadas anuales o a 10 pulgadas en un solo día, absorbiéndose también el flujo de los arroyos en las montañas que bordean esas llanuras de lava, lo que hace que a veces se les nombre ríos perdidos. El agua que se filtra en

la lava vuelve a aparecer en el flujo de los arroyos alimentados por los manantiales, cuando éstos ocurren bajo la meseta de agua. Los ríos que desaguan extensos mantos de lava se caracterizan generalmente por la estabilidad de su flujo. Por ejemplo, el flujo del río Deschutes, en Oregon, que desagua grandes áreas volcánicas, es más estable que el de cualquier otro arroyo de tamaño semejante en los Estados Unidos de Norteamérica.

Muchos de los arroyos de las regiones desérticas son del tipo de crecientes rápidas y su flujo consiste casi principalmente de agua de tormentas. Algunos llegan a los grandes campos de nieve, cuyas aguas de deshielo producen un flujo más constante.

En general, el flujo de los arroyos montañosos, aunque sea perenne en sus orígenes y cursos intermedios, disminuye hacia abajo a medida que atraviesa la zona de mayor aridez. Al desembocar de las montañas, el relleno de los valles absorbe gran parte de ese flujo y el arroyo se vuelve intermitente, desapareciendo por completo a mayor distancia en los valles.

Los mapas al fin de este artículo muestran las variaciones estacionales entre los flujos máximos y mínimos en los Estados Unidos de Norteamérica y el Canadá, los cuales se basan en gran parte en las cifras normales mensuales de las estaciones de aforo más significativas. Las cifras de los mapas designan lo meses de calendario de flujo normal máximo y mínimo, respectivamente (desde enero, que se representa como "1", hasta diciembre, que se representa por "12").

Los flujos elevados ocurren de invierno a verano, dependiendo de la región. En las regiones bajas del Sur la primavera es la estación de alta humedad en la tierra y de condiciones favorables para el desbordamiento producido por las lluvias; pero el tiempo de abundancia de agua estacional en los arroyos que desaguan las áreas septentrionales y las altas montañas, se asocia principalmente con la fusión de la nieve acumulada y alcanza su máximo con la llegada de la estación caliente.

Aunque los máximos de aguas de nieve en Arizona y New Mexico ocurren en abril y mayo, en la parte septentrional de la Columbia Británica, Alberta y Saskatchewan, las últimas aguas de las nieves demoran los máximos estacionales hasta julio.

En la graduación general de Sur a Norte están superpuestas las variaciones locales del máximo de agua estacional causadas por las grandes diferencias de altura, como ocurre en el Oeste. Los tributarios de los valles de muchos arroyos pueden alcanzar sus máximas etapas estacionales algunos meses antes que los tributarios alimentados por la fusión de las nieves de las grandes alturas.

Es típica la cuenca del río Sacramento en California. El máximo de agua ocurre ordinariamente en la parte baja de la cuenca e incluye los muchos tributarios occidentales que desaguan en febrero las cordilleras costeras relativamente bajas, mientras que los tributarios de los orígenes que desaguan la Sierra Nevada no llegan a su máximo sino hasta mayo o junio. Los grandes flujos de mediados de invierno a lo largo de la costa del Pacífico son el resultado de las abundantes lluvias en esa estación con muy poca acumulación de nieve. Las tierras bajas de aluvión en la región intermontañosa del Sur, fluyen ordinariamente sólo durante las tormentas esporádicas de verano.

Puede notarse también la progresión de Sur a Norte del flujo máximo en el Este, en donde ocurren flujos máximos durante enero, febrero y marzo en los Estados del Golfo, y durante abril y mayo en Quebec.

La península de Florida, en la que el mes de octubre es el de flujo máximo en los arroyos, es una notable excepción. La estación de lluvias en Florida se extiende de junio a octubre, y los arroyos alcanzan sus máximas etapas estacionales a fines del verano y principios del otoño.

Generalmente el otoño e invierno son estaciones de flujos bajos. En el Este, y a lo largo de la costa del Oeste, los arroyos llegan a sus etapas más bajas a fines del verano y en el otoño (después de que terminan las intensas lluvias de verano). En los Estados del Nordeste el invierno es también una estación de bajo flujo; pero los deshielos intermiten-

tes mantienen el flujo de los arroyos en una proporción ordinariamente mayor que la de fines de verano y de otoño. Más al Norte, sin embargo, como en Quebec, los flujos más bajos del año ocurren en invierno, debido a que los deshielos son poco frecuentes.

El flujo de los arroyos es estacionalmente menor en invierno en las Grandes Llanuras, debido a las escasas lluvias. En esa estación es también muy bajo en la región intermontañosa y en el Canadá, debido generalmente a la acumulación de casi toda la precipitación en forma de nieve, que se conserva hasta que se funde durante los deshielos de primavera y verano, ocurriendo variaciones según las latitudes y alturas. Los bajos flujos en Arizona, en junio y noviembre, coinciden con los meses de sequía en esa zona.

El mapa al final de este capítulo muestra la distribución normal del desbordamiento, por meses, en estaciones da aforos seleccionadas en los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. Una característica principal de este mapa es que el flujo generalmente es mayor que el flujo anual promedio (en primavera y verano, representado por la línea de 8% que se muestra ininterrumpida en las gráficas), y que los flujos máximos duran generalmente menor número de meses que los mínimos. Se nota la concentración estacional más marcada en Roaring Fork, en Colorado, y generalmente en la región central de las Montañas Rocallosas, donde en junio ocurre hasta el 30% del total del desbordamiento anual. La menor variación estacional ocurre en el Sudeste, como lo demuestran las gráficas de los ríos Chattahoochee y Kissimmee.

W. B. LAMGBEIN *ha trabajado como ingeniero hidráulico con la Inspección Geológica desde 1935, y es miembro del personal de la División de Recursos Hidráulicos de Washington, como consultor de investigaciones hidrológicas.*

J. V. B. WELLS *ha sido miembro de la División de Recursos Hidráulicos de la Inspección Geológica desde 1929. Fue nombrado jefe de la Rama de Aguas Superficiales de la División de Recursos Hidráulicos en 1946.*

Las fuentes subterráneas de nuestra agua

Harold E. Thomas

LOS DEPÓSITOS SUBTERRÁNEOS de agua contienen el mayor almacenaje de agua dulce de la nación, mucho mayor que la capacidad de todos los lagos y depósitos superficiales, incluyendo los Grandes Lagos.

A. M. Piper, en su informe sobre los sistemas subsuperficiales de conservación de agua y formas de suministro, calculó que el total de los depósitos de agua del suelo utilizables, consiste en la precipitación anual durante 10 años o en el desbordamiento de 35 años.

En los últimos años ha aumentado grandemente el interés público en el agua del suelo, debido al rápido aumento del acondicionamiento y utilización de pozos en muchas regiones y de los problemas que acompañan a ese acondicionamiento. El ciudadano normal sabe muy poco acerca del agua del suelo, y aun el hidrólogo cuenta con menos información cuantitativa que la que existe sobre otras fases del ciclo hidrológico. La falta de esa información ha sido la causa de muchas controversias y dificultades en el desarrollo de los recursos hidráulicos.

Entre las varias fases del ciclo hidrológico, el agua del suelo se encuentra, por lo tanto, en primer lugar, por lo que hace a su almacenamiento utilizable, constituyendo el principal interés, preocupación y materia de controversia entre los usuarios de agua.

El consumo combinado de agua del suelo en 1950 fue en promedio de 30 a 35 billones de galones diarios, o sea del 17 al 20% del consumo total para usos municipales, rurales, industriales y de riego. El agua del suelo no tiene importancia como fuente directa para usos que no implican su consumo (energía hidroeléctrica, navegación, disposición de desechos, recreo y conservación de peces y fauna), pero tiene una gran importancia indirecta debido a que el flujo mínimo de los arroyos se conserva primordialmente debido al agua del suelo. Igualmente la disminución del agua del suelo en al-

gunos lugares ha ocasionado la disminución del flujo de los arroyos, reduciendo por tanto las existencias disponibles para usos que no implican su consumo.

Los usos rurales del agua, sin incluir el riego, se calculan, aproximadamente, en 3.5 billones de galones diarios, de los cuales probablemente el 80% lo suministran los pozos. Estos se encuentran ampliamente distribuidos en las áreas rurales en casi todos los estados, y proporcionan la gran mayoría del agua para las necesidades domésticas y de ganado de los agricultores.

Las municipalidades obtienen, aproximadamente, 3.5 billones de galones diarios, o sea el 25% de su consumo total, de los pozos y manantiales. Generalmente las ciudades más pequeñas y los pueblos dependen del agua del suelo para sus necesidades. De las 100 ciudades más importantes de los Estados Unidos de Norteamérica, sólo 19 dependen de los pozos para sus necesidades públicas; 16 de ellas se encuentran entre las 60 ciudades cuya población fluctúa de 105,000 a 250,000 habitantes. De las 22 ciudades que en 1950 tenían entre 150,000 y 500,000 habitantes, sólo San Antonio y Memphis cubrían sus necesidades municipales con agua del suelo. Entre las 18 ciudades de más de 500,000 habitantes, Houston, Texas, era la única que dependía de los pozos para sus necesidades públicas y está dependiendo cada vez más del agua superficial para usos industriales.

Los consumos industriales de agua del suelo son de 5.5 billones de galones diarios, o, aproximadamente, 7% de las necesidades totales de la industria. Sólo el 4% de esas necesidades en las áreas industriales del Nordeste se obtiene de los pozos; pero en la mitad occidental del país, en donde la población, las industrias y el agua son menos abundantes, la industria utiliza casi tanta agua del suelo como agua superficial.

Los pozos producen, aproximadamente, 20 billones de galones diarios, o sea el 25% del consumo total de riego. California, Arizona, Texas y New Mexico bombean 14 billones de galones diarios para riego, y esos riegos significan más del 70% de toda el agua del suelo que se usa en los Estados Unidos de Norteamérica.

El interés público en el agua del suelo se iguala al interés en el desarrollo y regulación de los arroyos, en la modificación del clima y en la conversión de agua salada. Este interés se deriva de la tendencia nacional hacia el aumento en el consumo de agua para todos los fines, tendencia que sugiere la posibilidad de que dentro de 25 años necesitemos más del doble de los 175 a 200 billones de galones diarios que se emplean actualmente en la industria, los riegos y usos municipales.

La selección del agua del suelo en vez del agua superficial, como fuente de suministro, se ha hecho generalmente sobre la base de una o más de las siguientes ventajas:

1ª El agua del suelo puede obtenerse a unos cuantos cientos de pies del sitio donde va a usarse y en la misma propiedad, mientras que el agua superficial puede necesitar tuberías o derechos de paso que pueden extenderse a varias millas.

2ª Puede obtenerse el agua del suelo para su consumo en áreas donde otros usuarios se han apropiado ya del agua de los arroyos y lagos.

3ª Los rendimientos de los pozos y manantiales generalmente fluctúan menos que el flujo de los arroyos en períodos alternados de humedad y sequía.

4ª El agua del suelo es más uniforme en su temperatura y contenido de minerales solubles que el agua superficial, y generalmente se encuentra exenta de sedimentos y contaminaciones bacterianas.

El aprovechamiento del agua de fuentes superficiales ha sido necesario en muchos sitios donde el agua del suelo sólo puede obtenerse a excesivas profundidades bajo la superficie, o donde no puede obtenerse en cantidad suficiente a cualquier profundidad; en donde se estima que el agua del suelo es ya propiedad de otros, o en sitios donde su calidad la hace inadecuada para el uso a que se destina. El agua del suelo puede encontrarse en desventaja como alternativa del agua superficial aun cuando sea de buena calidad, porque su aprovechamiento

requiere generalmente un cierto consumo de energía para bombearla, mientras que el agua superficial puede producir energía además de quedar disponible para otros usos.

LAS CARACTERÍSTICAS de controversia del agua del suelo son muy numerosas. Muchos litigios sobre los efectos causados por un pozo sobre otro o sobre un manantial se han decidido ante los tribunales, e indudablemente muchos otros no han llegado a los tribunales debido tan sólo al alto costo del procedimiento y a la aparente imposibilidad de obtener pruebas en apoyo de opiniones individuales. Esas controversias reflejan la falta general de conocimientos y las incertidumbres que existen en la mente del público en relación con el agua del suelo.

Los hidrólogos que estudian el agua del suelo tendrán que admitir, por lo menos entre ellos mismos, que son tan incapaces de saber lo que pasa en el subsuelo como el resto de la gente; pero por medio de procedimientos científicos pueden obtener un conocimiento de las condiciones subterráneas que puede parecer sobrenatural a un observador casual.

Han podido saber así que la extraña y aparentemente misteriosa complejidad de la ocurrencia del agua del suelo se debe en gran parte a la complicada historia geológica de la Tierra, lo que hace que los estudios de geología regional constituyan un requisito previo para la comprensión del agua del suelo.

Los sabios han llevado a cabo extensas investigaciones para establecer y verificar los principios físicos que gobiernan el movimiento del agua en el interior de la tierra, y aplican esos conocimientos teóricos a sus análisis e interpretaciones de datos obtenidos de los pozos y manantiales, que comprenden los registros de pozos, fluctuaciones del nivel del agua, análisis químicos, datos de descarga, datos de pruebas de bombeo, etc. Puede obtenerse así una comprensión más completa de los recursos hidráulicos de una región, analizando las relaciones del agua del suelo con el agua en otras fases del ciclo hidrológico, tanto bajo condiciones naturales como bajo condiciones de utilización por el hombre.

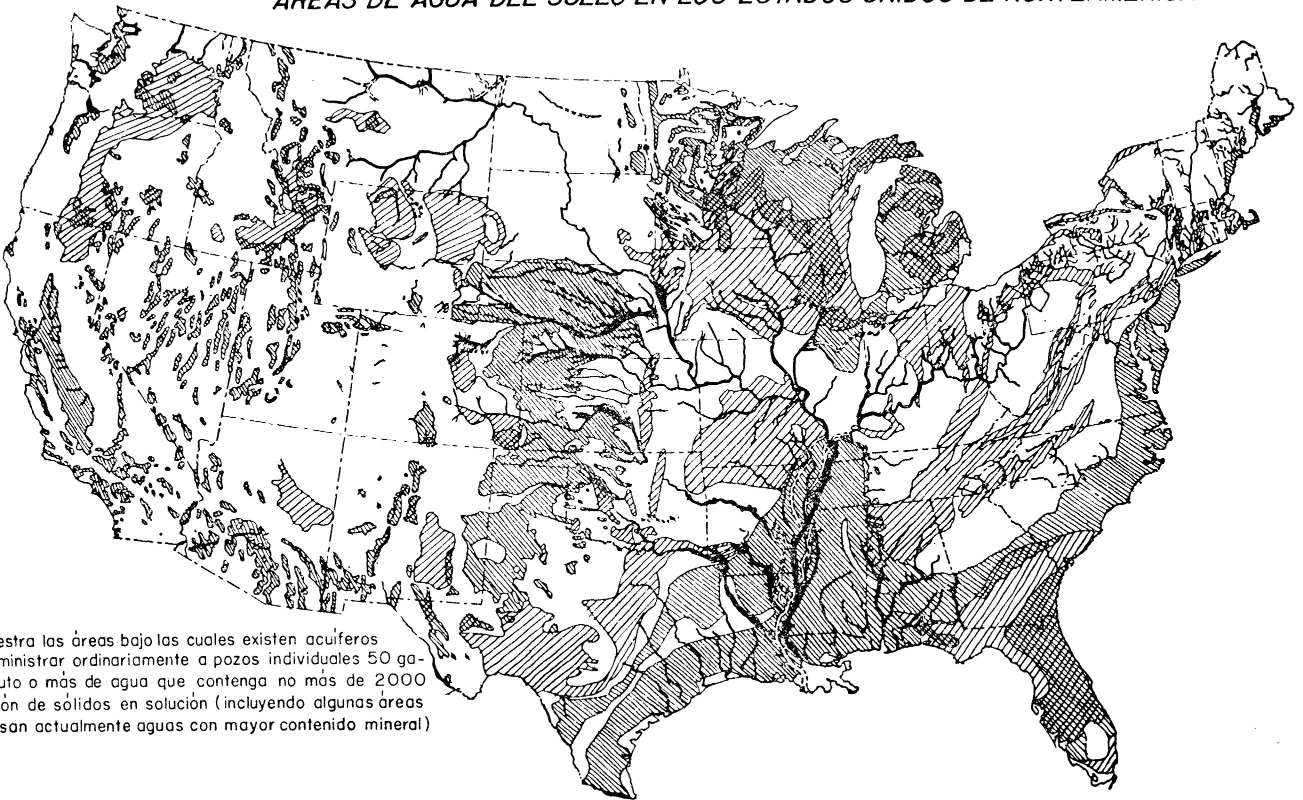
Algunos argumentos se originan en el conflicto que existe entre las complejidades de la ocurrencia del agua del suelo en áreas específicas localizadas por los hidrólogos y las sencillas generalizaciones hechas por algunos otros en relación con el agua del suelo en determinado Estado, cuenca de río o en todo el país. Algunos insisten, por ejemplo, en que si conservamos la gota de lluvia donde cae, aumentaremos así la reposición de los "depósitos de agua del suelo" nacionales. Es obvio que si la corteza terrestre fuera lo suficientemente homogénea y lo suficientemente permeable para aceptar la lluvia que cae en cualquier sitio, no habría incertidumbres en la perforación de pozos y sería posible la perforación de pozos de gran rendimiento en cualquier parte.

Creo que las controversias sobre el agua del suelo son de buen augurio. Aunque se deriven de un conocimiento incompleto de esos recursos, demuestran que tenemos ahora ciertos conocimientos sobre ellos, y esto es más benéfico para la economía nacional que el no pensar en forma alguna en los aspectos del agua del suelo que se relacionan con los proyectos de descubrimiento de agua, como lo hicimos en el pasado. Necesitamos saber mucho más y necesitamos sobre todo el conocimiento detallado de ciertas localidades específicas. Las variaciones en las capas rocosas que conservan y suministran el agua son tales, que es muy peligroso el hacer a un lado los estudios específicos necesarios sobre el agua del suelo, aun cuando cuesten tiempo y dinero.

NO TODA EL AGUA que se encuentra bajo la superficie de la tierra es agua del suelo. Un hombre que tenga los pies en el suelo puede creer que al recoger un montón de tierra húmeda obtiene cierta parte de agua del suelo, o que al vaciar una cubeta de agua en tierra absorbente aumenta los recursos de la misma en igual cantidad. Ambas creencias son incorrectas.

El agua del suelo es sólo la parte del agua subterránea que ocurre cuando se han saturado todos los poros de las materias rocosas que la contienen. La "zona de saturación" puede extenderse en al-

AREAS DE AGUA DEL SUELO EN LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMERICA



Patrón que muestra las áreas bajo las cuales existen acuíferos capaces de suministrar ordinariamente a pozos individuales 50 galones por minuto o más de agua que contenga no más de 2000 partes por millón de sólidos en solución (incluyendo algunas áreas en donde se usan actualmente aguas con mayor contenido mineral)

- Corrientes de agua en las que el agua del suelo puede renovarse de los arroyos perennes
- Valles sumergidos que no están ocupados actualmente por arroyos perennes
- Acuíferos no consolidados y semi-consolidados
- Acuíferos de roca consolidada
- Acuíferos de rocas consolidadas y no consolidadas
- Areas bajo las cuales no se sabe que existan acuíferos que suministren ordinariamente a los pozos hasta 50 galones por minuto

gunos lugares hasta la superficie de la tierra, especialmente en áreas de filtración y en ciertos lechos de arroyos, lagos y pantanos. En todos los demás sitios existe una "zona de ventilación" sobre la zona de agua del suelo, que puede variar en espesor desde unas cuantas pulgadas hasta cientos de pies. En la zona de ventilación hay cierta cantidad de agua en todo tiempo, mantenida en ella por la atracción molecular, y en especial las tierras pueden contener cantidades considerables de agua contra la atracción hacia abajo de la gravedad. Los pozos no pueden extraer parte alguna de esa agua y tienen que perforarse a través de la zona de ventilación y obtener sus suministros del agua del suelo.

El campo normal de operaciones del hidrólogo del agua del suelo queda delimitado sólo en forma aproximada por esa definición de ella. Por tanto, la parte superior de la zona de saturación no puede identificarse fácilmente desde la superficie de la tierra, y en consecuencia, el hidrólogo mide los niveles de agua en los pozos poco profundos, y con esos datos construye un mapa de la "meseta de agua" que es, por lo tanto, una superficie freática, es decir, que pertenece a un pozo en donde el agua se encuentra a la presión atmosférica. La meseta de agua puede coincidir, aproximadamente, con la parte superior de la zona de saturación en grava gruesa; pero es probable que quede a varias pulgadas o aun varios pies debajo de ella en tierras de contextura más fina, porque la elevación capilar produce la saturación de una zona más elevada que la meseta de agua (el borde capilar).

A menudo el agua subterránea es difícil de identificar o clasificar bajo la base de la definición anterior. Puede haber un flujo saturado, por lo menos en forma temporal, en algunas partes de la zona de tierra. Un perforador de pozos puede encontrar una zona saturada y continuar hacia abajo en materiales secos que es obvio que se encuentran dentro de la zona de ventilación, o puede encontrar materiales saturados que no den agua para su pozo, lo que indica que no hay ninguna meseta de agua. Puede también perforar a través de materias que no produzcan agua y encontrar luego una capa en la que el agua suba en el pozo hasta un nivel más alto en la zona de ventilación, pudiendo ocurrir que el agua se desborde. Todo lo anterior es típico de la amplia gama de condiciones en que ocurre el agua del suelo y que reflejan las grandes variaciones en porosidad y permeabilidad que existen en los componentes sólidos de la corteza terrestre.

TODAS LAS AGUAS subterráneas ocurren en espacios abiertos dentro de los materiales rocosos de la corteza terrestre. Hay muchas clases de rocas que difieren grandemente en el número, tamaño y forma de sus espacios abiertos. Los materiales sueltos, como la arena, grava y fragmentos de roca, tienen espacios porosos que pueden verse fácilmente; pero los espacios entre las partículas de arcilla y otros materiales de contextura fina pueden ser extremadamente diminutos. Entre las llamadas rocas sólidas, algunas contienen poros microscópicos, otras tienen grandes cavernas y otras más son excesivamente densas y compactas; pero aun estas últimas están fracturadas ordinariamente en cantidad suficiente para formar algunas aberturas que pueden admitir agua. Todas las aberturas subterráneas pueden considerarse como poros, ya que aun la mayor caverna no es más que un poro en comparación con el tamaño de la Tierra. La capacidad de los materiales rocosos para contener y suministrar agua se determina grandemente por las características de esos poros.

La porosidad de los materiales de roca suelta varía con su arreglo, forma y grado de variación de las partículas. El tamaño del grano no es un factor determinante, porque si las demás condiciones son iguales, un material tendrá la misma porosidad, aunque consista de grandes o pequeños fragmentos. El sedimento o la arcilla, que consisten totalmente de partículas diminutas, pueden tener una porosidad tan grande como la grava gruesa, aunque los poros sean más difíciles de ver. En algunas rocas sólidas ha disminuido la porosidad original debido a la compactibilidad o a los depósitos de cemento en los espacios de los poros. En otras ha aumentado por el desarrollo

AREAS EN LAS QUE EL BOMBEO DE LOS POZOS HA CREADO CONOS DE DEPRESION SIGNIFICATIVOS

Everett
Quincy
Pullman
Walla Walla
Moscow
Malad
Peach Bowl
Delano-Earlimart
Lindsay-Strathmore
Edison-Arvin
Las Vegas
Flowell
Deer Valley
Queen Creek
Eloy
Dickinson
Fargo-Moorhead
Cheyenne
Bijou Creek
Prospect Creek
Denver
Beaver Creek
Grand Junction
Rocky Ford
Bluewater
House
Portales
Lea Co.
El Paso
Lobo
Pecos
Imperial
Bakersfield
Ft. Stockton
Texline
Sunray
Herring
Amarillo
Hereford
Plainview
Lubbock
Hall Co.
Grand Island
Omaha
Lincoln
Wichita
Oklahoma City
Norman
Dallas
Fort Worth
Columbus
Miami
Joplin
Springfield
Jefferson City
Columbia
Sedalia
Minneapolis
St. Paul
South St. Paul
Mason City
Sioux City
Cedar Rapids
Ottumwa
Clinton
Dubuque
Madison
Fond du Lac
Green Bay
Escanaba
Waukesha
Milwaukee
Rockford
South-west Chicago
Whiting
Joliet
Elkhart
South Bend
Peoria
Champaign
East St. Louis
Indianapolis
Battle Creek
Lansing
Pontiac
Jackson
Toledo
Columbus
Millcreek Valley
Louisville
Memphis
Crossett
El Dorado
Spring Hill
Bastrop
Monroe
Natchitoches
Shreveport
Hodge
Alexandria
Ville Platte
Baton Rouge
Lufkin
Elizabeth
Orange Co.
Pasadena
Houston
Katy
Galveston
Baytown
Erath
Acadia
Jeff Davis
Lake Charles
El Campo
Velasco
Texas City
Atascosa Co.
Winter Garden
Premont
Linn
Biloxi
Gulfport
New Orleans
Norco
Selma
Montgomery
Dothan
Cantonment
Pensacola
Panama City
Port Joe
Kingsley Lake
St. Mary's
Fernandina
Jacksonville
Hastings
Sanford
St. Petersburg
Tampa
Ruskin
Sarasota
Ft. Pierce
Stuart
Miami
Savannah
Brunswick
Florence
Georgetown
Charleston
Charleston
West Point
Franklin
Jamestown
Corning
Binghamton
Providence
Provincetown
New Haven
Bridgeport
Newark
Rahway
Queens
Brooklyn
South Amboy
Trenton
Asbury Park
Atlantic City
Cape May
Baltimore
Cambridge
Lewes
Ocean City

○ Niveles de agua en los pozos que continúan disminuyendo
⊖ Niveles de agua que se encuentran aproximadamente en equilibrio
● o ◒ Invasiones de agua de mala calidad registradas en algunos pozos

de fracturas o por la disolución de algunos materiales rocosos.

La capacidad de absorber, mantener o producir agua queda necesariamente limitada en las rocas de baja porosidad. Esas rocas pueden ocurrir muy cerca de la superficie de la tierra, aunque por lo regular la porosidad tiende a ser mayor cerca de la superficie y menor a medida que aumenta la profundidad. Las rocas menos porosas son probablemente las que se encuentran enterradas a una profundidad tal que el peso sobre ellas es suficiente para deformar su estructura y cerrar todos los poros, profundidad que, naturalmente, tiene que ser mayor para las rocas fuertes que para las más débiles.

La profundidad a la que las presiones son lo suficientemente fuertes para forzar el cerramiento de los poros en todas las rocas, es decir, la profundidad de la zona donde la roca fluye, debe ser mayor que las 4 millas a las que se ha penetrado en las más profundas perforaciones de prueba de pozos petrolíferos, y se cree que debe ser de 10 millas o más. La capa superior de la zona del flujo de la roca es el límite teórico inferior al que puede penetrar el agua del suelo.

Las pruebas obtenidas en la perforación de pozos profundos indican que en la mayoría de los sitios el agua escasea mucho más arriba de esa profundidad teórica. Unos cuantos pozos han obtenido agua de la roca a profundidades mayores de 2 millas, pero en la mayoría de los lugares los pozos profundos encuentran poca agua a una profundidad mayor de media milla.

Los materiales rocosos de porosidad elevada pueden suministrar abundantes cantidades de agua, aunque no necesariamente. Una roca saturada puede descargar la mayor parte del agua de sus poros en los pozos o manantiales. Otra de igual porosidad pero de poros más pequeños, puede retener prácticamente toda el agua y sólo dejar escapar cantidades ínfimas a los pozos. Por lo tanto, la diferencia consiste en la proporción del contenido de agua que se retiene debido a la atracción molecular y en la proporción que puede moverse por gravedad. La roca que permite que el agua se mueva a través de ella por gravedad, es mucho más permeable que la que retiene el agua debido a la atracción molecular.

La atracción molecular tiene mayor significado con la disminución del tamaño de los poros, debido a la mayor área superficial de la materia sólida a la que puede adherirse. En un pie cúbico de grava bien surtida, cuyas partículas tengan un diámetro de un cuarto de pulgada, el área superficial combinada de sus fragmentos es, aproximadamente, de 200 pies cuadrados, o casi la superficie de un cuarto ordinario. En un sedimento bien surtido de fragmentos redondeados del tamaño de la arcilla de 0.001 de milímetro de diámetro, la porosidad puede ser igual a la de la grava; pero el área superficial de los fragmentos en un pie cúbico puede exceder de un millón de pies cuadrados, o, aproximadamente, 23 acres, y la atracción molecular del agua es correspondientemente mayor.

Dentro de la corteza de la tierra hay una zona de porosidad generalmente elevada, con capacidad para retener agua, que es de importancia primordial para la agricultura, la zona de tierra. Aunque esta zona es semejante en muchos aspectos a los materiales que se encuentran debajo de ella y hereda de hecho muchas de las características del material rocoso del que se formó, tiene varias diferencias importantes. Situada en el lugar en que está y actuando en la forma que lo hace como apoyo y medio de alimentación y humedad para el crecimiento de las plantas, tiende a acumular materia orgánica y puede ser más eficaz que los materiales de donde procede, tanto en la cantidad de agua que puede retener contra los efectos de la gravedad como en la cantidad que puede transmitir sin daño a sí misma cuando la precipitación excede de sus necesidades de humedad; pero la tierra es particularmente susceptible a cambios en sus propiedades de retención y transmisión de agua como resultado de las actividades del hombre. Por lo tanto, son las diferencias que existen entre la tierra y las rocas debajo de ella más bien que sus semejanzas, las que tienen importancia al considerar la relación de la tierra con los suministros de agua. La tierra no produce el agua de los pozos, pero tiene que pasar a tra-



vés de ella el agua que queda disponible más tarde para las necesidades del hombre. Las rocas que se encuentran debajo de la tierra suministran agua a los pozos; pero sólo lo hacen si la tierra u otras materias superficiales, que tienen primacía sobre el agua, pueden liberar una parte de ella para que se mueva hacia abajo hasta la meseta de agua.

Más allá de las profundidades a que pueden llegar las raíces de las plantas, el agua que queda dominada por las fuerzas moleculares no puede ser de gran importancia económica, porque no queda disponible fácilmente en los pozos o manantiales en los que el hombre pueda utilizarla. Sin embargo, la fuerza de gravedad continúa actuando aun en las aguas que se encuentran en los poros diminutos, por lo que con el tiempo los pozos pueden recibir pequeñas cantidades de ella. Ocurre así un lento escurrimiento de agua en muchos pozos perforados en arcilla u otros materiales de contextura fina, en cantidad suficiente para su empleo limitado en usos domésticos y para las necesidades del ganado. En algunas áreas de fuerte bombeo, el escurrimiento de arcillas saturadas ha quedado acompañado de la consiguiente compresión, haciendo que se hunda la superficie de la tierra.

La proporción de movimiento del agua bajo la superfcie, depende en gran parte de la permeabilidad del material rocoso, o sea de su capacidad de transmisión de agua. En materiales permeables, la gravedad es la fuerza que mueve el agua hacia abajo desde la superficie de la tierra hasta la zona en donde todos los poros quedan saturados, y desde ella, en sentido lateral, hacia profundidades todavía mayores, y por fin a los océanos o a sitios donde el agua se descarga en la superficie de la tierra a través de los manantiales o escurrimientos, o por evaporación o transpiración.

La obtención de agua del suelo por medio de pozos implica la perforación de un agujero hasta la zona de saturación. El agua que escurre hasta el pozo de los materiales rocosos saturados, se llama agua de gravedad del suelo, y a medida que se bombea hacia afuera, se mueven cantidades adicionales hacia el pozo. La proporción en que el agua se mueve hacia el pozo y, por lo tanto, la proporción en que puede obtenerse agua del mismo, depende en gran parte de la permeabilidad de los materiales de los que se obtiene.

La ciencia de la geología trata en parte de la estratigrafía y de la estructura de las formaciones rocosas que componen la corteza terrestre. Estas formaciones geológicas forman la estructura a través de la cual se mueve el agua del suelo o que impide su movimiento. Se llama acuífero a una formación que proporciona agua en cantidad suficiente para que tenga importancia como fuente de suministro, o sea, una formación productora de agua que contiene agua de gravedad del suelo.

La naturaleza proporciona una graduación, desde aquellos materiales altamente permeables que si se saturan se convierten en acuíferos muy productivos, hasta los materiales impermeables que prácticamente no suministran agua. Por lo tanto, la sola clasificación de los materiales rocosos como permeables o impermeables en la mayoría de los casos es una mera simplificación de las condiciones reales. De hecho, una formación clasificada como acuífera en una región casi totalmente desprovista de agua disponible, podría considerarse como poco merecedora de ese nombre en las regiones donde pueden obtenerse grandes cantidades de agua de los pozos que penetran en otras formaciones. El término "acuífero" se usa a veces para designar mantos individuales productores de agua, que sólo tienen probablemente unos cuantos pies de grueso, y otras veces para designar gruesas series de mantos de permeabilidad variable en las que los mantos individuales quedan más o menos interconectados hidráulicamente.

El término "depósito de agua del suelo" tiene también usos muy variados. Ordinariamente se utiliza en vez de acuífero. En forma más amplia puede significar los materiales productores de agua en una extensa área, tales como el depósito de agua del suelo en el Valle de San Joaquín, en California, que suministra un volumen de agua igual al de la cuarta parte de toda la que se bombea de los pozos en los Estados Unidos de Norteamérica. En forma todavía más aproximada se ha empleado ese término para designar todo el material rocoso de un continente; pero ese uso aproximado hace caso omiso de los contrastes de permeabilidad y de capacidad resultantes, por lo que hace al almacenamiento y desarrollo del agua del suelo.

Las grandes variaciones de permeabilidad de los materiales rocosos han sido principalmente responsables de las grandes variaciones en la ocurrencia de agua en los depósitos de agua del suelo del Continente. En algunas áreas los depósitos de agua del suelo y los materiales que se encuentran arriba de ellos son todos respectivamente permeables, aunque sean inevitables ciertas variaciones. Los pozos excavados o perforados en esas áreas, penetran ordinariamente ciertos estratos secos y luego materiales que cada vez son más húmedos (el borde capilar), siguiendo después materiales de los que el agua entra a los pozos, atravesando en esa forma la zona de ventilación y llegando a la de saturación. La meseta de agua se eleva a medida que ésta entra a los depósitos de agua del suelo, y desciende conforme escurre el agua a partes más bajas de ellos, penetra en los pozos o se descarga por otros medios. Esa agua queda totalmente liberada.

Las capas relativamente impermeables dentro de la zona de ventilación causan varias complicaciones en este sencillo cuadro. Esas capas pueden estar en la superficie, lo que hace disminuir la infiltración a un grado ínfimo, y prácticamente toda el agua de la infiltración debe quedar en la superficie de la tierra o desbordarse sobre la misma.

El material impermeable puede encontrarse presente a diferentes profundidades bajo la superficie de la tierra, ya sea en forma de capa sólida, de arcilla

o de otro material extremadamente compacto a grandes profundidades. Ese material puede ser escasamente permeable y retrasar por tanto la filtración hacia abajo, ocurriendo así una acumulación de agua y la saturación temporal del material que se encuentra inmediatamente arriba del mismo, o puede ser tan impermeable que impida la filtración hacia abajo, lo que hará que se mantenga permanentemente un depósito de agua del suelo sobre la zona impermeable. Esos volúmenes de agua del suelo dentro de la zona de ventilación quedan aislados. Muchos de ellos son de poca extensión y pueden desaparecer poco tiempo después de las lluvias. Algunos depósitos aislados de agua del suelo la suministran a los pozos y manantiales y, por lo tanto, son de cierto valor económico, pero tienen poca importancia en la economía hidráulica total de la nación.

Muchos pozos profundos penetran considerablemente dentro de la zona de saturación y pasan a través de materiales rocosos que varían grandemente en permeabilidad. El agua puede elevarse considerablemente sobre la parte superior del acuífero de donde procede y puede aun desbordarse en la superficie. Esas aguas quedan confinadas bajo materiales menos permeables. No es necesario que el manto que las envuelve sea impermeable, sino que sea sólo menos permeable que el acuífero. Así, la piedra arenisca de Dakota, en North Dakota y South Dakota, es un acuífero artesiano de fama, en el que el agua se encuentra confinada en una densa capa de esquistos. En la base de la cordillera Wasatch, en Utah, hay mantos de arena suelta que son más permeables que la piedra arenisca de Dakota. Sin embargo, esa arena constituye el manto que confina el agua sobre las capas de grava gruesa. En ambos casos el agua se mueve con más facilidad a través del acuífero perforado por los pozos que a través de los mantos que lo cubren. Si el agua del acuífero se encuentra bajo una presión suficiente para elevarse sobre la zona de perforación, se vuelve artesiana y, por lo tanto, el acuífero es un depósito artesiano.

Un depósito artesiano no recibe agua debido al movimiento descendente a través del manto limitativo que lo cubre, y aun en los sitios en donde ese manto es moderadamente permeable, la presión artesiana se opone a ese movimiento. Como regla, por lo tanto, un depósito artesiano se vuelve a llenar en ciertas áreas en donde el manto limitativo no existe y en las que el agua del suelo se encuentra bajo condiciones de meseta de agua. Así, aunque es importante distinguir entre aguas libres y confinadas, debido a las diferencias en la hidráulica del agua del suelo, debe reconocerse que un "depósito artesiano" es realmente sólo una parte del complicado sistema subterráneo que es necesario para la producción de suministros perennes a los pozos o a los manantiales. Los acuíferos artesianos, así como otros depósitos de agua del suelo, necesitan que existan ciertas áreas en las que la tierra u otro material superficial, así como cualquier material no saturado debajo de ellos, sean lo suficientemente permeables para permitir que el agua llegue al acuífero. Esas áreas son las de reposición de los depósitos de agua del suelo, o sea, áreas en las que ocurre esa reposición.

Se ha encontrado también agua confinada en los pozos de muchas regiones del país, especialmente en los campos petrolíferos, bajo condiciones que indican que se ha aislado de otras aguas, y en muchos casos, que ha sido atrapada en esos sitios durante las edades geológicas. Las aguas atrapadas tienen generalmente un alto contenido de minerales, y no pueden utilizarse; pero algunas contienen minerales que son de valor económico. Las aguas atrapadas se encuentran en condiciones análogas a las necesarias para la acumulación de petróleo, y se asemejan a los recursos petrolíferos en otros aspectos. Como quedan aisladas del sistema circulatorio natural del ciclo hidrológico, no pueden renovarse o reponerse como sucede con la mayoría de los recursos hidráulicos.

La cantidad de almacenamiento de un depósito de agua del suelo no es una indicación de la capacidad del mismo para mantener una producción continua de agua para los pozos y manan-

tiales. El límite de rendimiento perenne se fija por el promedio anual de reposición del depósito, en igual forma que el rendimiento útil de un depósito superficial depende del flujo que reciba. Algunos pequeños depósitos de agua del suelo a lo largo de los arroyos son capaces de producir grandes rendimientos continuos, porque la reposición puede efectuarse fácilmente de los mismos arroyos. Otros, especialmente en las áreas desérticas, pueden ser mucho mayores y contener grandes cantidades de agua en almacenamiento, teniendo, sin embargo, muy poca capacidad para producir rendimientos perennes debido a su escasa reposición. Como ejemplo, se calcula que el depósito de agua del suelo bajo el área de 6,700 millas cuadradas al sur de las Altas Llanuras de Texas, contiene casi 5 veces más agua que el lago Mead (formado por la presa Hoover), pero su reposición anual es menor de 0.5% del flujo anual que recibe el lago Mead.

Ocurre un movimiento natural del agua de modo característico a través de los depósitos de agua del suelo, pero ese movimiento es sumamente lento. Mientras que la velocidad de los arroyos se expresa comúnmente en términos de pies por segundo, las velocidades del agua del suelo se miden en pies por día o aun por año. El agua del suelo se mueve de las áreas de reposición a las de descarga natural, y a través de los años, la descarga natural promedia del depósito equivale a la reposición promedia. Los pozos interceptan cierta parte de esa agua en su camino, y si el rendimiento se mantiene año tras año se debe a que el agua tomada de ellos se reemplaza con una mayor reposición o se desvía de su curso hacia su descarga natural final.

En general, el agua no permanece debajo de una propiedad hasta que su dueño quiere usarla. Eventualmente se descargará del depósito de agua del suelo, ya sea que aquél la aproveche o no. En otras palabras, la conservación del agua del suelo no se logra necesariamente por el mero hecho de no usarla.

La velocidad del movimiento del agua del suelo es un factor importante que determina el continuo rendimiento de los pozos, ya que este rendimiento se limita a la cantidad de agua que llega al pozo desde los sitios en donde el agua penetra en la tierra. Los pozos que se encuentran lejos de una fuente de reposición no pueden producir agua en forma perenne en mayor proporción que aquella en que el agua se mueve a través del acuífero, aun cuando la cantidad disponible en su origen sea muchas veces mayor.

Los suministros artesianos quedan especialmente limitados por ese factor de transmisión del acuífero, y muchos de los problemas nacionales de "escasez de suministros de agua" se derivan de esa limitación. Los problemas son análogos a los de un poblado que cuente con un volumen de agua suficiente, pero cuyas líneas de distribución son demasiado pequeñas para llevar el agua necesaria a ciertas partes del mismo.

Pueden ofrecerse algunos puntos de guía para el desarrollo eficaz de almacenamientos subterráneos para usos perennes. El continuo rendimiento de un depósito de agua del suelo (usando el término para describir una unidad subterránea del ciclo hidrológico, incluyendo sus áreas de reposición y descarga) no puede ser mayor que la reposición promedia, ya sea que ésta ocurra por medios naturales o artificiales, o ambos. Generalmente la cantidad recuperada para usarse será considerablemente menor que el flujo que recibe, debido a las limitaciones prácticas de las técnicas de recuperación. En cualquier parte del depósito, y en cualquier pozo determinado, existe una limitación adicional impuesta por la proporción en que el agua puede transmitirse a través del acuífero. Esta limitación tiene menos aplicación en los pozos que se encuentran dentro del área de reposición, en la que pueden obtener los beneficios de cualquier flujo de modo inmediato. Esas limitaciones son una simplificación de un complejo problema y consisten solamente en limitaciones de carácter hidrológico. En muchas regiones los factores económicos, sociales o legales limitan los rendimientos de los depósitos de agua del suelo a una proporción muy inferior a sus capacidades hidráulicas.

La relación entre la reposición y el rendimiento continuo de los depósitos de

agua del suelo es tan extremadamente análoga a la que existe entre el influjo y el rendimiento de los depósitos superficiales, que podría preguntarse por qué no se basan los programas de desarrollo de agua del suelo en los conocimientos que tenemos sobre la reposición, que son comparables a los conocimientos sobre el flujo de los arroyos, que consideramos como requisito previo para el desarrollo de los ríos. Una parte de la respuesta puede derivarse del hecho de que el desarrollo del almacenamiento superficial es consecuencia del ingenio del hombre, y no existe hasta que éste ha hecho una inversión considerable en mano de obra y materiales, mientras que el depósito de agua del suelo se construye y se abastece por la Naturaleza y queda preparado para suministrar agua mediante una pequeña inversión en la perforación de pozos. Como quiera que sean, han ocurrido "escaseces de agua del suelo" en partes de casi todos los Estados, y gran parte de ellas podrían haberse aminorado si se hubiera conocido la hidrología de esos depósitos.

En ciertas extensas áreas, los materiales superficiales son permeables, pero no están saturados. En algunos lugares esos materiales pueden extenderse hasta profundidades de varios cientos de pies sin que caigan bajo la definición de "acuíferos" o "depósitos de agua del suelo", que se limitan a rocas saturadas; pero pueden clasificarse como posibles sitios de almacenamiento subterráneo que pueden quedar en servicio si se encuentran métodos adecuados para saturarlos. De hecho, existen ya depósitos de agua del suelo en las áreas de riego del Oeste que antes se componían de rocas no saturadas, pero que reciben ahora el agua sobrante de los riegos, la almacenan y subsecuentemente la descargan en los pozos y manantiales. Hay también rocas no saturadas que probablemente nunca podrán constituir depósitos satisfactorios, aunque sean excesivamente permeables, porque sus materiales se encuentran en lugares en que el agua escurriría tan rápidamente como pudiera suministrarse en forma práctica.

LA FASE DE AGUA del suelo del ciclo hidrológico puede describirse actualmente con referencia a la estructura de materiales rocosos que almacenan o transmiten las aguas subterráneas. Prácticamente toda el agua del suelo, así como la humedad de la tierra, se deriva finalmente de la precipitación; pero el agua de la tierra tiene también otros orígenes: El agua tierna que se eleva del interior de la tierra, como ocurre en ciertas áreas volcánicas; el agua innata atrapada en los sedimentos cuando se depositaron éstos hace probablemente cientos de millones de años; el agua contenida en ciertos minerales y que queda libre cuando éstos se descomponen. Las cantidades provenientes de esos orígenes pueden ser considerables en total; pero esa agua ordinariamnte está demasiado mineralizada para la mayoría de los usos, teniendo que prescindirse de ella cuando se encuentra en los pozos. Esencialmente toda el agua utilizable del suelo es parte del patrón circulatorio del ciclo hidrológico.

La permeabilidad es un factor principal en todos los aspectos del movimiento subterráneo del agua. Es de importancia en la superficie de la tierra para determinar las proporciones de infiltración y flujo superficial a partir de la precipitación. Esta proporción puede modificarse por los factores climatológicos y la permeabilidad puede modificarse también por otros diversos factores. Las variaciones en permeabilidad bajo la superficie son responsables de las zonas aisladas de agua del suelo y de las condiciones artesianas, así como también de los marcados contrastes que existen entre los rendimientos de formaciones que suministran agua y de las fallas de algunos materiales rocosos para producirla.

Probablemente ninguna parte de la corteza terrestre es absolutamente impermeable. Esto quiere decir que en la mayoría de los lugares puede moverse hacia abajo cierta cantidad de agua desde la superficie de la tierra, y que debe haber por lo menos pequeñas cantidades de agua del suelo prácticamente bajo cualquier punto de la superficie de la tierra. La amplia distribución de los pozos en las granjas y centros de población confirma esta suposición; pero las especificaciones establecidas por el hombre para el suministro de agua de un pozo son ta-

les que muchas regiones quedan descalificadas. Tienen que desecharse la mayoría de las arcillas y materiales de contextura fina, porque los pozos no pueden aprovechar el agua almacenada en ellos. Las necesidades de ciertos usuarios son tan considerables que no pueden satisfacerse aun con materiales moderadamente permeables. No se utilizan muchos acuíferos porque sus aguas no llenan las características deseadas en lo que se refiere a calidad química, y otros pueden quedar tan profundos que la perforación de pozos o el bombeo de agua de ellos no pueda justificarse económicamente.

Tratándose de los grandes pozos que son necesarios para la industria, los riegos y los usos municipales, sólo son suficientes los mejores acuíferos. Se calcula que casi el 80% de toda el agua obtenida de los pozos procede de grava suelta o ligeramente consolidada y arena. La piedra calcárea produce, aproximadamente, 5% del total de agua bombeada de los pozos, principalmente en Florida, Georgia, New Mexico y Texas. Alrededor del 3% se origina en la piedra arenisca de varias partes del país, y 2% en el basalto, principalmente en el noroeste del Pacífico.

El mapa que aparece al final de este artículo muestra las áreas en que pueden obtenerse cantidades moderadas o abundantes de agua utilizable de los pozos. No se consideró como criterio esencial en la compilación del mismo la profundidad del acuífero bajo la superficie de la tierra. En algunas áreas esa profundidad puede ser excesiva para la perforación bajo las condiciones económicas actuales, pero el agua está disponible cuando se necesite. En algunas áreas, además, puede encontrarse agua a diversas profundidades, y probablemente en más de una formación geológica.

El mapa incluye así todas las áreas en las que las cantidades moderadas o abundantes de agua pueden pasar a través de materiales permeables. La escala del mapa y los conocimientos actuales son demasiado limitados para que esta información pueda darse detalladamente. Se han perforado con éxito grandes pozos en muchas áreas pequeñas que no pueden mostrarse en el mapa, y, por otra parte, no pueden obtenerse buenos pozos en todos los sitios señalados como "áreas de agua del suelo".

En el mapa se establecen tres tipos de áreas de agua del suelo:

1º Las corrientes de agua que consisten de un lecho ocupado por un arroyo perenne, juntamente con los materiales de aluvión que las rodean y que se encuentran debajo de ellas, saturados con el agua que viene del arroyo, de la infiltración en la superficie o de los materiales adyacentes conductores de agua.

2º Los materiales sueltos conductores de agua, principalmente grava y arena, incluyendo los acuíferos productivos de las Llanuras Costeras, Grandes Llanuras, esparcimiento glacial, deslaves y valles occidentales. Se incluyen en este grupo los valles glaciales sumergidos que no están ocupados actualmente por arroyos perennes. Las áreas que se muestran incluyen las que son potencialmente conocidas como de desarrollo de pozos, así como las de reposición.

3º Las rocas consolidadas transportadoras de agua, de las cuales la piedra caliza, el basalto y la piedra arenisca son las más importantes. Las áreas incluyen las localidades de reposición que coinciden generalmente con las áreas en las que ocurren rocas permeables, así como las áreas en donde las rocas quedan enterradas bajo materiales menos permeables, pero que suministran agua utilizable a los pozos.

Las áreas del mapa que se encuentran en blanco son significativas porque indican que no se sabe que haya materiales rocosos que puedan suministrar hasta 50 galones por minuto a un pozo aproximadamente en la mitad del país. Aparentemente las rocas que se encuentran bajo de esas áreas en blanco son incapaces en general de recibir o transmitir grandes cantidades de agua, ya sea por infiltración de la superficie de la tierra, de los arroyos o por flujos subterráneos de áreas adyacentes bajo las cuales hay rocas permeables. Naturalmente, esas áreas no están desprovistas de agua del suelo y muchas suministrarán cantidades adecuadas para usos domésticos o consumo del ganado. Debido a la baja permeabilidad total de la rocas o mantos superiores en

esas localidades, la fase de agua del suelo del ciclo hidrológico comprende una proporción menor que la ordinaria del total de agua, y en general, probablemente a distancias más cortas.

La reposición de casi todos los depósitos de agua del suelo, ya sean grandes o pequeños, importantes o ínfimos, se mueve hacia abajo desde la superficie. La cantidad de esa reposición depende en parte de la permeabilidad de la tierra o manto rocoso y en parte del agua disponible de la precipitación, de los arroyos o de otros orígenes. Muchas de las mejores áreas de reposición tienen debajo de ellas materiales tan permeables que impedirían que se clasificaran como tierras, porque el agua se mueve hacia abajo tan rápidamente a través de ellas que pueden producir muy poca vegetación, tales como los taludes o declives montañosos, los lechos rocosos de los arroyos en la boca de los cañones, las lavas áridas, las dunas de arena y las áreas de crecimiento de las calcáreas cavernosas.

En la mayoría de los depósitos de agua del suelo, y probablemente una muy pequeña de la infiltración en el área de reposición, se convierte en agua del suelo. A proximidad de la tierra, el agua superficial puede moverse hacia arriba por la energía solar en forma de evaporación o transpiración, y volver a la atmósfera. En las cuencas desérticas la mayor parte del agua de la escasa precipitación se disipa en esta forma, y los depósitos de agua del suelo pueden volver a llenarse sólo unas cuantas veces durante un siglo, cuando ocurren años excepcionalmente lluviosos.

Aun en la mitad oriental húmeda del país, muchos depósitos de agua del suelo reciben una reposición ínfima durante el verano, lo que sugiere que la vegetación puede consumir la mayoría, si no la totalidad, del agua que queda disponible de las lluvias durante la estación de crecimiento.

El agua que desciende más abajo de la zona de raíces escapa a la influencia de la energía solar, y sus movimientos ulteriores se deben exclusivamente a la gravedad. Es obvio que se mueve a consecuencia de la gravedad a medida que penetra más profundamente dentro de la zona de saturación; pero no es menos cierto que se mueve a consecuencia de la gravedad a medida que se eleva en los orificios de los manantiales, en el flujo de los pozos o que escurre hacia arriba a través de las llamadas capas limitativas. La mayor parte del movimiento de la llamada fase de agua del suelo es en sentido lateral con cierta gradiente hacia abajo más bien que en un plano vertical. En este respecto se asemeja al movimiento en la fase de agua superficial.

Los DATOS BÁSICOS que son esenciales para la comprensión de nuestros recursos de agua del suelo (y en forma semejante para nuestros recursos de agua superficial), han sido compilados por un gran número de agencias federales, estatales y municipales, por los distritos de riego y otros grupos de usuarios de agua, empresas industriales, especialistas consultores en asuntos hidráulicos y personas interesadas en ciertos aspectos del suministro de agua.

Damos algunos ejemplos: Los perforadores de pozos acumulan un fondo de valiosas informaciones relacionadas con la posición y características de los acuíferos que existen en una región y la forma de obtener agua de ellos. Basándose en esas informaciones, muchas empresas de perforación pueden contratar la perforación de pozos de rendimiento y calidad garantizados. Los fabricantes de bombas y las empresas productoras de energía pueden calcular la descarga y eficiencia de los equipos de bombeo que se instalen. Las municipalidades y muchas empresas industriales tienen un personal permanente de especialistas en suministros de agua, y la preocupación principal de muchos de ellos consisten en su distribución y tratamiento; pero algunos conservan registros de las cantidades bombeadas de los pozos y de las fluctuaciones del nivel estático y elevación de bombeo. Los distritos de riego y los sistemas de reacondicionamiento en el Oeste pueden contar con datos sobre niveles de agua de los pozos, especialmente si el suministro de algunos de ellos viene del agua del suelo o si hay dificultades debidas a una elevada meseta de agua. Los consejeros técnicos de muchos distritos de conservación

de tierras compilan gran cantidad de datos sobre varios aspectos de las aguas del suelo dentro de esos distritos. Los agentes de condado, colegios agrícolas estatales y otras instituciones relacionadas directa o indirectamente con el Departamento de Agricultura, han ayudado también en la compilación de varios registros relacionados con pozos. Los operadores de minas, túneles, pozos de petróleo o salmuera, sistemas de represas y otras estructuras de protección contra inundaciones, compilan también algunos datos relacionados con aspectos especiales del agua del suelo.

Por tanto, contamos con una enorme lista de personas, empresas y agencias gubernamentales que compilan datos sobre el agua del suelo en instalaciones especiales o para tipos específicos de usuarios: Las oficinas del Departamento del Interior que se ocupan del reacondicionamiento o administración de tierras de las tribus indias; parques nacionales u otras tierras públicas; varias agencias del Departamento de Agricultura; algunas agencias del Departamento de la Defensa, incluyendo el Cuerpo de Ingenieros; gran número de agencias estatales cuyas responsabilidades son paralelas a las de las agencias federales; municipalidades e industrias; grupos de usuarios de agua; universidades y otros grupos científicos o técnicos, y gran número de personas. Para la completa evaluación de nuestros recursos de agua del suelo y de su desarrollo, cada uno de ellos puede considerarse como parte de un rompecabezas, muchas de cuyas piezas no se encuentran.

Hay varias razones para ello: Los datos pueden compilarse en forma esporádica cuando existen dificultades en los suministros de agua, cuando éstas son inminentes o durante el periodo de un empleo cuyo interés científico exige que se vaya más allá de los trabajos de rutina. Los datos pueden quedar limitados en cuanto a amplitud o área, y aunque probablemente llenen las necesidades especiales del que los compila, no explican la ocurrencia y movimiento del agua del suelo en la región. Finalmente, los datos compilados por grupos que tienen intereses especiales, generalmente no quedan disponibles para utilización por el público. Algunos de ellos se diseminan entre grupos que los comunican a todos los que los soliciten; pero otros se conservan por individuos en regiones de intensa competencia en los suministros de agua, que han compilado esos datos para obtener una ventaja en ella.

Unas cuantas agencias tienen la responsabilidad de compilar datos que permitan una completa evaluación de nuestros recursos hidráulicos y de los efectos de su desarrollo. En el importante campo de la salubridad pública en relación con los suministros de agua, el Servicio de Salubridad Pública del Departamento de Salubridad, Educación y Bienestar mantiene ciertas normas en cooperación con las agencias estatales responsables.

La compilación e interpretación de datos básicos relacionados con todos los aspectos de los recursos de agua del suelo es responsabilidad de la Inspección Geológica del Departamento del Interior, que trabaja en cooperación con las agencias estatales responsables del cálculo de los recursos de agua y de los efectos de su desarrollo. Esas agencias pueden percibir cooperación y ayuda muy importantes de los numerosos grupos de intereses especiales que compilan datos hidráulicos para sus propias necesidades. Igualmente, varios Estados tienen disposiciones legales que exigen la aplicación de ciertos datos por los ingenieros, geólogos, comisionados de tierras y otros funcionarios estatales responsables de la compilación de datos sobre recursos hidráulicos, tales como registros de perforación, datos de profundidad, descarga, uso de los pozos, etc.

En donde quiera que el desarrollo del agua del suelo quede regido por disposiciones legales, el ingeniero estatal o cualquier otro funcionario administrativo puede expedir permisos o aprobar solicitudes para la perforación de nuevos pozos o para la concesión de derechos de agua en una cuenca de agua del suelo, pudiendo designársele como árbitro ante los tribunales y suministrando el fundamento hidrológico para una sentencia. En esta forma sus funciones son casi judiciales y quedan sujetas a revisión por los tribunales. Ordinariamente la inspección Geológica compila e interpreta esos da-

tos básicos en cooperación con la agencia estatal, basándose su capacidad para esta labor en la competencia, imparcialidad y carencia de intereses especiales de sus hidrólogos de agua del suelo.

Sin embargo, falta mucho para que todos los datos disponibles sobre el agua del suelo y los estudios analíticos de los mismos nos den una idea completa de esos recursos en todo el país. Los norteamericanos sólo prestan atención a los recursos de agua del suelo cuando ocurren problemas. Sabemos mucho más sobre las regiones en donde han ocurrido esas crisis y mucho menos sobre otras regiones, y esto puede continuar así hasta que los pozos se sequen, y entonces, parafraseando a Benjamín Franklin, sabremos el valor del agua.

Los problemas de desarrollo del agua del suelo se han discutido detalladamente en mi libro *La Conservación del Agua del Suelo.* Se da a continuación un resumen de esos problemas extractado de ese libro.

Los problemas de agua del suelo en una localidad rara vez son únicos, ya que otras localidades han encontrado problemas semejantes y en muchos casos han hallado soluciones satisfactorias de los mismos. La mayoría de los problemas de "escasez" de agua del suelo ocurren en áreas en donde se consumen importantes cantidades de agua de los pozos.

El almacenamiento de agua del suelo ha quedado también influenciado por otras actividades del hombre, a veces en su propio provecho, pero generalmente en su contra. Con mucha frecuencia esos cambios, que son incidentales a la población del país, han sido sin intención e imprevistos.

Las dificultades creadas por el bombeo de los pozos son de varios tipos. Algunos problemas se relacionan con la totalidad de los depósitos de agua del suelo cuando la proporción de reposición es insuficiente para cubrir la continua demanda. Los problemas de tubería (problemas ocasionados por la insuficiente capacidad de los acuíferos para transmitir las cantidades necesarias a los puntos en que se usa) se deben a la incapacidad del agua para moverse en forma suficientemente rápida a través de los materiales de la tierra para cubrir las demandas de los pozos, aun cuando el depósito de agua del suelo en sí tenga una cantidad suficiente de ella. El tercer tipo ocurre a lo largo de las corrientes de agua, en donde existe una íntima relación entre el agua de los arroyos y la que se bombea de los pozos.

Ocurren graves problemas de escasez de agua del suelo en áreas en donde el agua que se bombea excede de la que recibe el depósito mismo como reposición. En estas condiciones se saca del depósito el agua que puede haber necesitado décadas o tal vez siglos para acumularse, y es imposible un continuo suministro perenne a menos que cambien las condiciones existentes. Es aún más seria la situación cuando el agua salada u otra que no pueda utilizarse fluye a un depósito de agua del suelo a medida que se bombea el agua buena, porque esos depósitos pueden quedar totalmente arruinados antes de agotarse. La mayoría de los depósitos que han sido bombeados en exceso se encuentras en las regiones áridas, en las que la precipitación ordinariamente es inadecuada para cubrir las necesidades del hombre. Algunos tienen una área de 100 millas cuadradas, o menos. Otros pueden abarcar varios condados, extenderse a través de un Estado o de las fronteras internacionales. Los usuarios del agua del suelo saben ordinariamente que están empleando la mayor cantidad del suministro perenne, y que ese suministro se agotará a menos que se tomen medidas adecuadas. Las medidas correctivas que se han aplicado ya en algunas áreas incluyen la prevención del desperdicio, una disminución prorrateada del bombeo de todos los pozos, la prohibición de desarrollos ulteriores, el reacondicionamiento del agua utilizada, la reposición artificial del agua del suelo con el agua sobrante de los arroyos y la importación de agua de otras áreas.

El bombeo de pozos muy próximos ha causado una disminución considerable en el nivel de agua en algunas partes de casi todos los Estados y principalmente en áreas municipales o industriales que usan grandes cantidades de agua del suelo. Los niveles de agua han llegado a un

equilibrio aproximado en algunas de estas áreas, lo que indica que el agua bombeada está reemplazándose con el agua transmitida a través del acuífero. En otras áreas los niveles de agua siguen disminuyendo cada año, y el aumento en la demanda ha creado un influjo en la demanda de agua de los océanos o de otras aguas que no pueden utilizarse en algunos pozos.

Los problemas de las corrientes de agua se derivan del bombeo de los pozos a lo largo de los ríos, en donde el agua del suelo está tan estrechamente relacionada con el agua de los arroyos que el bombeo de los pozos agota el flujo de los mismos. La desviación de los arroyos con fines diversos puede aumentar la cantidad de agua del suelo en un sitio y disminuirla en otro. La íntima relación que existe entre el agua del suelo y el agua superficial se comprueba también en algunas ciudades ribereñas, en las que la protección de los arroyos requiere no solamente la protección contra una elevación del nivel, sino también contra la elevación simultánea de los niveles de agua del suelo bajo la ciudad.

Muchas actividades que no se relacionan con el bombeo de agua del suelo han modificado el almacenamiento de ella bajo la superficie de la tierra. Los proyectos de desagüe y de riego han probado que es posible el manejo del almacenamiento en los depósitos de agua del suelo. Desgraciadamente, el almacenamiento de esa agua ha aumentado con los riegos en algunos sitios hasta inundar las buenas tierras agrícolas y causar su abandono, y ha disminuido en otras localidades debido al desagüe, con detrimento de la utilización agrícola de la tierra y del aprovechamiento municipal del agua. El hombre ha cambiado la cantidad de agua almacenada bajo la superficie de la tierra con sus estructuras de almacenamiento de agua superficial o para protegerse contra las inundaciones, al mejorar los canales de navegación y al construir ciudades y dotarlas de albañales pluviales. Ha perjudicado ciertas existencias de agua descargando aguas contaminadas en la tierra del suelo, y ha perforado también los mantos protectores, permitiendo así el acceso del agua del mar u otras aguas mineralizadas en los acuíferos.

Considerando al país en su totalidad, el mayor cambio efectuado por el hombre ha consistido en el cambio de los bosques y praderas de hierba originales en áreas cultivadas o baldías.

A falta de registros reales de niveles de agua del suelo en los pozos desde los principios de la población, hay un amplio campo de argumentación en lo que se refiere a los efectos de los cambios en la cubierta vegetativa en el almacenamiento de agua del suelo. Es indudable, sin embargo, que donde las substancias de la tierra quedaron saturadas a unos cuantos pies de la superficie, la creación de profundos canales ha disminuido la meseta de agua tan completamente como lo han hecho las zanjas en numerosos proyectos de desagüe.

HAROLD E. THOMAS *ha sido geólogo e hidrólogo del agua del suelo en la Rama de Agua del Suelo, División de Recursos Hidráulicos de la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica, desde 1931, habiendo hecho una inspección de esa situación bajo los auspicios de la Fundación de Conservación, y actualmente es geólogo de la Rama de Agua del Suelo en Salt Lake City, Utah.*

Cómo medimos las variaciones en la precipitación

William E. Hiatt y Robert W. Schloemer

HABLAMOS MUCHO sobre las lluvias normales, pero sería difícil encontrar un mes o un año en los que la precipitación pueda llamarse normal. Sin embargo, a pesar de que esa normalidad es muy rara, nos es necesaria como norma de medida, al igual que necesitamos de los patrones normales de medida en la agricultura y en la industria, a fin de que podamos determinar, por ejemplo, si la producción es buena o mala.

Necesitamos conocer también las variaciones que tomamos en cuenta para

hallar esa normalidad, o sea el promedio de las grandes diferencias que ocurren durante un largo periodo de tiempo. Las crecientes y las sequías son resultado directo de las variaciones de la normalidad; pero las pequeñas fluctuaciones en el volumen, tiempo y lugar en que ocurren las lluvias son también de importancia para cada uno de nosotros. La precipitación se mide a medida que cae y también después de que se acumula en forma de nieve.

La precipitación que cae se recoge en varios tipos de medidores adaptados a las diferentes situaciones en las que es necesario medir la lluvia o la nieve.

En los Estados Unidos de Norteamérica existen aproximadamente 10,000 medidores no registradores, o sea un promedio de 3 por cada condado, con ayuda de los cuales se hacen observaciones diarias por ciudadanos de gran espíritu público que llevan a cabo este importante servicio sin remuneración alguna. En los medidores no registradores, la lluvia se conduce por medio de un embudo hasta un tubo de medición de pequeño diámetro, en donde se amplifica su profundidad a fin de que puedan apreciarse con toda exactitud hasta los centésimos de pulgada por medio de una sencilla regla calibrada.

Durante la estación de las nieves el embudo y tubo de medición se sacan del medidor, y la nieve se recoge en el recipiente de desbordamiento, que tiene ocho pulgadas de diámetro, o se usa este recipiente para cortar un cilindro de nieve recién caída. La nieve se pesa o se funde después, y se mide por medio del tubo de medición para obtener su equivalente de agua.

Existen también, aproximadamente, 3,000 medidores registradores con mecanismos de cubetas pesadoras o basculantes que producen un registro continuo de la precipitación a medida que cae en los medidores. Los medidores de almacenamiento se colocan en sitios remotos que ordinariamente sólo pueden visitarse unas cuantas veces al año. Este tipo de medidor tiene mayor capacidad, se carga con soluciones anticongelantes y tiene una capa de aceite para disminuir la evaporación entre lecturas. Hay, aproximadamente, 300 de estos medidores, encontrándose la mayor parte de los mismos en las montañas del Oeste. Muchos de ellos están colocados en torres a fin de que no los sepulten las nevadas, y la mayoría están dotados con protectores de láminas flexibles para disminuir los efectos del viento. Los esfuerzos recientes para perfeccionar medidores que no necesiten atención y que informen periódicamente por medio de la radio, han tenido considerable éxito. Sin embargo, son demasiado costosos para que se empleen extensamente, y la precipitación se observa ordinariamente sólo en aquellos lugares en donde los medidores pueden leerse fácilmente.

Además de la red del servicio meteorológico nacional se han establecido redes especiales de medidores, sobre todo en Ohio y en el condado de Los Angeles, para las operaciones de control de inundaciones, estudios de lluvias durante las tempestades, investigaciones sobre erosión de la tierra y otros fines.

A menudo diversas agencias efectúan "inspecciones de cubeta" después de las tempestades extremadamente violentas, para suplementar la escasa red oficial de medidores de lluvias. Esas lecturas se obtienen por medio de cubetas, canales, latas, barriles, medidores caseros y otros medios. Los ciudadanos han prestado valiosos servicios anotando e informando a la Oficina Climatológica las lluvias que sobrepasan aproximadamente de 3 pulgadas por hora o de 6 pulgadas diarias, su tiempo de iniciación y terminación, condiciones de exposición y naturaleza del recipiente.

La precipitación que se acumula en forma de nieve en la superficie de la tierra se mide diariamente por lo que hace a profundidad y equivalencia de agua en cada una de las 300 estaciones de la Oficina Climatológica que se encuentran en las grandes ciudades. En más de un millar de otros lugares, que se encuentran principalmente en los montañas del Oeste, se mide la profundidad de la nieve y su equivalencia de agua a intervalos aproximados de un mes, a fines del invierno y a principios de la primavera, mediante inspecciones especiales.

Se está comenzando a usar el radar para rastrear las tormentas y para indicar

las proporciones de precipitación y su duración durante una tormenta; pero el radar es extremadamente eficaz en aquellas localidades donde hay muy pocos medidores para obtener una indicación de la distribución de la precipitación en el área (la distancia promedia de un medidor a otro es de 15 millas en los Estados Unidos de Norteamérica), así como en aquellas áreas en donde hay medidores suficientes para calibrar los patrones de intensidad indicados por el radar.

Las variaciones en la recolección de precipitación debidas a diferencias en los medidores que se emplean comúnmente, rara vez son mayores del 5%. Las variaciones debidas a diferencias en las localidades pueden exceder del 50% cuando las velocidades del viento son mayores de 20 millas por hora en el sitio donde se encuentra el medidor. Este constituye una obstrucción para el aire en movimiento, una parte del cual se eleva al pasar el medidor. Ese movimiento del aire hacia arriba sobre el medidor disminuye la caída de la precipitación, especialmente en el caso de los copos de nieve, dentro del recipiente del mismo. Las pantallas adaptadas a los medidores ayudan en cierto modo a disminuir el efecto del viento, pero la mejor solución consiste en evitar los sitios airosos.

Los mejores lugares se encuentran rodeados de buenos abrigos naturales, tales como árboles bajos, arbustos o construcciones pequeñas. Una sola obstrucción grande cerca del medidor es perjudicial, porque puede interceptar la precipitación cuando el viento sopla de ese lado. Como la turbulencia del viento aumenta con su altura sobre la superficie de la tierra, el medidor sólo debe estar a la altura necesaria sobre el suelo para evitar las salpicaduras, el desbordamiento y que quede cubierto por la nieve.

Se están haciendo continuos esfuerzos para mejorar el diseño de los medidores, así como las normas para escoger los sitios de instalación a fin de aproximarse hasta donde sea posible al ideal de la recolección exacta. Mientras tanto, la recolección de los medidores, en promedio, es deficiente en unos cuantos puntos de porcentaje, más bien que excesiva. Sin embargo, mediante los tipos normales de medidores y las reglas para su exposición, la recolección de los medidores ha constituido un índice confiable y exacto en relación con la recolección exacta.

La interpretación de los datos comprende el cálculo del tiempo, espacio y frecuencia de las distribuciones de precipitación mediante las observaciones efectuadas en unos cuantos lugares.

La distribución de la precipitación en el tiempo requiere el empleo de todos los datos disponibles, así como un conocimiento de la meteorología de las tempestades. Por ejemplo, es probable que las lluvias que son irregulares en su distribución, tengan proporciones variables en diferentes puntos de una área. Una tempestad con proporciones bajas y constantes de lluvia, es probable que tenga una distribución bastante uniforme en toda un área. El tiempo de distribución de la precipitación en un medidor que se observa sólo una vez al día, puede inferirse del tiempo de distribución observado en las estaciones registradoras cercanas o mediante la interpretación de la serie de acontecimientos meteorológicos.

La variación de las lluvias en una área sobre la base de una tempestad, de una estación, o alguna otra, requiere conocimientos sobre los movimientos de las tempestades, los procesos de ellas y la influencia fisiográfica sobre los mismos. En las localidades abruptas no basta con interpolar en forma lineal entre los datos disponibles en las estaciones, ni es correcto suponer que cada estación representa una gran área a su alrededor, digamos de la mitad de la distancia a las estaciones más próximas en todas direcciones. Los registros de cada estación representan el complejo que existe en la misma de los factores que influencian las lluvias. Para interpolarlos es necesario saber cuáles son esos factores y en qué forma quedan distribuidos sobre toda el área.

En el promedio de lluvias anuales las variaciones en la dinámica de las tempestades se distribuyen ordinariamente sobre áreas bastante extensas durante un periodo de registro de varios años. En algunas regiones la distribución por área del total de precipitación anual o estacional, muestra una notable uniformidad

de año en año. En esas regiones la precipitación promedia estacional sobre una área es una fluctuación bastante precisa (pero no necesariamente un sencillo promedio) de la precipitación observada en ciertas estaciones índice bien escogidas.

En general, las lluvias disminuyen con la distancia a las costas y aumentan con la altura sobre el nivel del mar. Se recoge mayor precipitación de los declives del lado del viento que en los opuestos, siendo mayor la variación en los declives mayores.

Pueden definirse objetivamente éstos y otros parámetros, que funcionan en forma distinta en diversas regiones; pero dentro de una región se relacionan funcionalmente con la precipitación anual o estacional en los sitios que cuentan con registros de precipitación. Por medio de esas funciones se calcula la precipitación promedia anual en lugares intermedios donde no se observa, pero donde pueden medirse los parámetros fisiográficos. Se ha empleado esta técnica para afinar el mapa de precipitación promedia anual, aproximadamente, en la cuarta parte del área de los Estados Unidos de Norteamérica.

Puede calcularse el promedio de lluvias a lo largo del plazo de una estación que tenga un registro reciente, comparándolo con los promedios observados en unas cuantas estaciones cercanas que tengan registros prolongados y notando cómo se compara ese promedio durante un registro reciente común a todas las estaciones.

En ocasiones necesitan ajustarse los registros, debido a una exposición o métodos de observación diferentes de los normales. Puede hallarse y evaluarse un promedio constante por el método conocido como análisis de doble masa. Se acumulan los valores anuales de precipitación en una estación y los totales de acumulación se proyectan contra las correspondientes acumulaciones sucesivas de precipitaciones promedias en las estaciones cercanas cuyos registros son confiables. Los cambios en el declive de la línea proyectada muestran el tiempo y el valor de esos cambios en el régimen de observación de la estación que se está probando.

La mecánica de la precipitación de las tempestades determina la clase, proporción y duración de la precipitación en la superficie del suelo. Las lluvias intensas causan graves problemas de erosión. Las lluvias heladas y el granizo causan daños directos a las plantas, y las de los aguaceros ligeros se evaporan sin beneficios reales para las cosechas. Los largos periodos lluviosos frecuentemente son tan perjudiciales como las sequías.

La precipitación es el producto final en forma de lluvia, nieve, granizo o escarcha, que resulta de la disminución de la temperatura de una masa de aire bajo el nivel de su capacidad de retención de humedad. Se libera la humedad sobrante, y la forma en que ésta llega a la superficie del suelo depende de su temperatura inicial, de la temperatura del aire a través del cual cae y de la temperatura de la superficie de la tierra. La intensidad de precipitación en cualquier punto de la tierra depende de la cantidad de enfriamiento del aire en lo alto y del volumen y contenido de humedad del mismo.

La mayor parte de la precipitación de la estación fría en los Estados Unidos de Norteamérica se asocia con tormentas ciclónicas que ocurren como resultado de la acción recíproca entre masas de aire frío y caliente. El modelo clásico, con lluvias constantes ligeras y moderadas al Norte y al Este del centro, y con aguaceros en el Sur y en el Oeste, se ha modificado muy poco en los últimos años, a excepción de los mayores detalles obtenidos de las cartas combinadas de superficie y del aire en lo alto, que permiten una mejor comprensión y explicación de las variaciones del modelo. Pueden ocurrir algunas de nuestras lluvias más fuertes en los lados Este y Noroeste de la tormenta si el aire caliente que se eleva sobre el frío no es estable. Además, actualmente es más fácil delinear las áreas en que se esperan tormentas intensas en el semicírculo Sur, examinando la temperatura, humedad y profundidad de los vientos.

Las lluvias continuas, desde ligeras a moderadas, indican un deslizamiento bastante uniforme hacia arriba del aire caliente y húmedo en una área mayor. Ese deslizamiento puede asociarse con las llu-

vias del frente caliente en el cuadrante Nordeste de las tempestades ciclónicas o puede ser consecuencia de la ascensión forzada de aire estable húmedo hacia arriba de los declives montañosos del lado del viento.

Mezclados con las lluvias constantes pueden ocurrir cortos periodos de lluvias de mayor intensidad que son producidas por las condiciones verticales de temperatura y distribución de humedad en la localidad, que causan el desarrollo de células de convección. Las lluvias de carácter más intermitente y mayor intensidad se asocian con las tempestades tropicales o huracanes. A excepción del centro mismo y de los bordes exteriores de la tempestad, las condiciones son más o menos uniformes sobre áreas extensas, así que el registro de precipitación representa una sucesión casi regular de acumulaciones horarias.

Las lluvias que principian repentinamente y terminan de modo brusco en unas cuantas horas o menos son características de tormentas o condiciones de aguaceros. Generalmente el grado de inestabilidad y velocidades verticales de los vientos afectados, como lo demuestran las turbulentas masas de nubes, indican la intensidad de las lluvias.

La violenta agitación y pasos sucesivos de las gotas de agua más allá del punto de congelación producen el granizo.

La lluvia helada que forma el aguanieve es el resultado de las lluvias que se originen en el aire relativamente caliente de lo alto, pero que se hielan al contacto con la tierra o con las superficies expuestas que se encuentren a una temperatura inferior al punto de congelación.

La escarcha se produce también en las mismas condiciones generales, con la sola diferencia de que las gotas de agua se hielan antes de llegar a la superficie.

Las características estacionales de las tempestades reflejan la relación básica que existe entre el mecanismo de la lluvia y los cambios de temperatura. La intensidad, frecuencia y cobertura de área de las tempestades ciclónicas, llegan a su máximo durante el invierno, época en que las mayores tormentas invaden frecuentemente las costas de la parte inferior de California, no siendo raras en los Estados del Golfo. A medida que se acerca la estación caliente disminuye la intensidad y frecuencia de las perturbaciones ciclónicas y las corrientes normales se mueven más y más hacia el Norte, lo que hace que para mediados del verano esas tormentas sean frecuentes sólo a lo largo de la frontera norte de los Estados Unidos de Norteamérica.

En verano la invasión del aire frío del Norte disminuye con frecuencia e intensidad. Las temperaturas más elevadas de la tierra, debidas a la radiación solar, aumentan la inestabilidad del aire que pasa sobre ella, y la predominación característica de las tempestades comienza a reflejarse en el patrón de las lluvias. Las temperaturas más elevadas durante lo meses de verano, aumentan también la capacidad de retención de humedad del aire, así que cuando entran en acción los mecanismos que liberan la precipitación, se aumenta grandemente el potencial del volumen total de lluvia por unidad de volumen de aire.

Las tormentas tropicales en su etapa activa, así como las decadentes, influencia el grupo de los Estados del Sur y gran parte de la zona Este de los Estados Unidos de Norteamérica. En general, la precipitación de los huracanes aumenta de volumen durante el otoño; pero no es raro que ocurra un año o varios años sucesivos sin que haya ninguna tormenta tropical en ciertas localidades. En otros años, una sola localidad puede quedar expuesta a varias de ellas. A medida que las tormentas tropicales se mueven hacia adentro y hacia el Norte, declina ordinariamente su intensidad, el aire frío se incorpora a ellas y sus características se hacen casi indistintas de las de los ciclones comunes de las latitudes medias.

La capa de nieve tiene importancia para la agricultura en varias formas (por ejemplo, el desbordamiento estacional para los riegos y la cobertura de las cosechas de invierno). La cantidad de la cobertura de nieve en una época dada se relaciona con la frecuencia e intensidad de las tempestades de nieve y de la temperatura que haya antes y después de que se inicien. La temperatura más fría y la mayor precipitación a alturas más elevadas,

aumentan su acumulación durante el invierno. Los periodos ocasionales de tiempo caliente, característicos de la mayor parte de los Estados del Este, tienden a hacer más difícil la accmulación de grandes mantos de nieve.

Algunas áreas (por ejemplo, las de los Grandes Lagos y la de la costa oriental) muestran fuertes efectos locales sobre el clima. Cuando el aire muy frío se mueve a través de los Grandes Lagos en otoño y principios del invierno, las capas de aire inferiores se calientan rápidamente y absorben por evaporación cantidades considerables de humedad de la superficie de los lagos, pudiendo ocurrir aguaceros inestables durante varios días en las costas que se encuentran en la dirección del viento, especialmente si hay alguna pequeña elevación en la tierra.

Son dignas de mención las profundas nevadas de invierno a lo largo de las costas sur de los lagos Erie y Ontario, ya que ocurre en ellas una tendencia inversa que impide la precipitación en primavera, aunque no en forma tan marcada como las influencias de invierno. Las altas temperaturas del agua a lo largo de la costa Este durante la estación fría, y el aire frío que se mueve hacia el Sudoeste desde el interior del continente, causan grandes contrastes de temperatura y son una fuente potencial de energía. Frecuentemente ocurren formaciones ciclónicas o se renuevan inmediatamente fuera de la costa, y se deja sentir la influencia de ellas a lo largo de los Estados costeros.

LA APLICACIÓN de las observaciones de precipitación a las muchas facetas del desarrollo de nuestros recursos hidráulicos, requiere considerable preparación, así como la interpretación de los datos disponibles antes de que se puedan utilizar en forma práctica.

Las cifras normales de precipitación son un requisito básico para el planeamiento, porque con su estudio pueden obtenerse a menudo las primeras indicaciones de éxito o fracaso de un proyecto planeado. La Oficina Climatológica ha terminado ya la determinación de cifras normales mensuales y anuales de las estaciones ordinarias.

Son bien conocidas las aplicaciones de los datos de lluvias y nieves a las decisiones relacionadas con las diarias operaciones de labranza. Se conoce también la utilización de datos meteorológicos, promedios y frecuencias, en planeaciones a largo plazo y en gran escala. Los estudios de los registros anteriores proporcionan la base para calcular las probabilidades de lluvias adecuadas para la producción de cosechas y pastos en áreas donde deben tenerse en cuenta los riesgos de la sequía. La coordinación de los diversos aspectos de los recursos hidráulicos de las grandes cuencas de los ríos requiere investigaciones climatológicas de naturaleza más complicada. Damos algunos ejemplos de esas interpretaciones especiales y de la utilización de los datos para demostrar la gran variedad de sus aplicaciones.

Aproximadamente desde 1935 se han iniciado estudios completos de la relación de profundidad-duración-área de las mayores tormentas que han producido inundaciones y de su relación combinada con las condiciones meteorológicas. Estos estudios se utilizan en relación con la planeación y diseño de estructuras para el control de inundaciones, depósitos de almacenamiento y proyectos de fines múltiples.

Para las grandes estructuras de fines múltiples cuya destrucción significaría grandes daños a la propiedad, así como pérdida de vidas, los meteorólogos calculan las lluvias máximas probables y la proporción de fusión de las nieves. Para las estructuras más pequeñas, tales como vertederos o alcantarillas para el control de la erosión en las que un diseño para un máximo posible sería antieconómico, ya que los excesos ocasionales causarían pocos daños, se proyecta para aceptar un flujo poco frecuente, como el que puede ocurrir una vez cada 5 años. A menudo se necesitan los datos de precipitación para calcular las probabilidades y extremos del flujo de los arroyos.

Un empleo importante de los datos de precipitación consiste en los pronósticos del flujo de los arroyos. El pronóstico de las crecientes, especialmente en las áreas de origen, se basa en los informes de lluvias anteriores, de lluvias más recientes y de los mantos de nieve. Un tipo dife-

rente de pronóstico es el de los suministros de agua. El Servicio de Conservación de Tierras y la Oficina Climatológica cooperan en la preparación y publicación de pronósticos del volumen del flujo de los arroyos con una anticipación de varios meses para riegos y otros fines. Los pronósticos se basan principalmente en las observaciones de las lluvias de otoño e invierno, en la recolección de medidores y mantos de nieve, o en ambos.

Las relaciones de lluvias-desbordamientos, establecidas inicialmente para esos pronósticos, tienen otras aplicaciones. Por medio de esas relaciones, basadas en registros relativamente cortos del flujo de los arroyos, puede extenderse el "registro" del flujo sintético de un arroyo por tantos años como lo permitan los registros de lluvias disponibles, y con frecuencia por más de 50 años. Las relaciones de lluvia-desbordamiento son necesarias para calcular los efectos del cambio en su utilización en la tierra o de las prácticas de manejo del agua. Los llamados pronósticos de flujo natural basados en relaciones pre-estructurales, se hacen ordinariamente en lugares diversos para evaluar los efectos del funcionamiento de los depósitos.

La incidencia de las lluvias de corta duración (digamos la cantidad por hora que podría igualarse o excederse una vez cada 10 años), puede calcularse, en aquellas localidades donde no hay datos de lluvias de corta duración, mediante la interpretación adecuada de los datos disponibles. Pueden establecerse esas relaciones en aquellas estaciones que cuenten con datos de registradores que relacionen las intensidades horarias con las diarias, promedio de lluvias anuales, promedio anual de días lluviosos y otros parámetros. Esas relaciones se aplican luego en donde sólo se observan los parámetros climatológicos ordinarios.

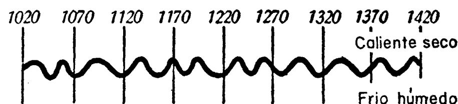
Entre los cálculos especializados en un extremo de la utilización de los datos de lluvias y el otro extremo de las sencillas decisiones diarias que son tan comunes que casi no se toman en cuenta, hay una gran área de aplicaciones que queda a disposición de las personas sin preparación alguna, si saben las que se encuentran disponibles.

Cada semana, la Oficina Climatológica publica el "Boletín de Climas y Cosechas", que proporciona un sumario de los recientes acontecimientos de climas y de cosechas en los diversos estados y en todo el país. Los resúmenes mensuales de datos climatológicos contienen informes de precipitación y otros, por estados, en todas las estaciones de los Estados Unidos de Norteamérica. Cada estación climatológica prepara un resumen climatológico anual, que contiene promedios, totales y extremos de los elementos importantes de clima durante el año en los periodos de registro de cada estación.

Mensualmente, de enero a mayo, la Oficina Climatológica publica pronósticos sobre los suministros de agua para un total aproximado de 500 estaciones en los Estados del Oeste. En *El Clima y el Hombre,* en el "Anuario de Agricultura de 1941", se encuentran muchas tablas y mapas que constituyen probablemente los resúmenes de clima más completos generalmente disponibles. La Oficina Climatológica (que formaba parte del Departamento de Agricultura cuando se publicó el "Anuario") está continuando la recopilación de esos datos y poniéndolos al corriente. Todas estas publicaciones y otros datos semejantes están a la disposición del público en cualquier dependencia de la citada Oficina.

PROBABLEMENTE NINGÚN OTRO factor aislado determina un año de cosechas provechoso o perjudicial (excepto en condiciones de riego), más que la oportunidad y las cantidades de precipitación en sus relaciones con la siembra, cultivo, fructificación y recolección de cada cosecha; pero la seguridad de la precipitación sólo se ha investigado al azar de acuerdo con su relación con las características de ciertas cosechas específicas.

Los conocimientos obtenidos en relación con las observaciones de la intensidad de la lluvia en ciertos puntos, que son de particular interés para evaluar los problemas relacionados con el desagüe local, se han tabulado en periodos de 24 horas (Publicación Técnica núm. 16 de la Oficina Climatológica), para todas las estaciones de dicha oficina y otras que cooperan con ella. Se han tabulado también los



Ciclo de clima de Eduard Brückner para los años de 1020 A. C. a 1420 A. C. Se basa en gran parte en los registros de la severidad de los inviernos europeos. (Según Gregory.)

volúmenes máximos observados a intervalos de 1, 2, 3, 6, 12 y 24 horas para diversos estados del Oeste y casi todos los del área costera del Este (Publicación Técnica núm. 15 de la Oficina Climatológica). Se han publicado en forma miscelánea en publicaciones científicas (muchas de las cuales se mencionan en la Bibliografía de la Sociedad Meteorológica Norteamericana) la gran mayoría de los datos de distribución y frecuencia de lluvias en puntos determinados. El *Manual Climatológico de Washington, Distrito de Columbia,* constituye un buen ejemplo de análisis de estación y se espera que el empleo de tarjetas perforadas acelere los programas de análisis de datos climatológicos de esta naturaleza.

Aunque la mayor parte de la precipitación cae en forma de lluvia y ésta generalmente es de gran interés, ocasionalmente tienen gran importancia otras fases de dicha precipitación. Ejemplos de lo anterior son los daños causados por el granizo y por las lluvias heladas. Los mantos de nieve de principios de invierno ayudan a aislar la tierra que cubren, pero la fusión tardía de la nieve retrasa el arado de la tierra y la siembra de primavera. La Investigación Cooperativa de Nieves del Cuerpo de Ingenieros, así como la Oficina Climatológica, han contribuido a nuestro mayor entendimiento y han mejorado nuestra comprensión de las propiedades físicas de la nieve, la rapidez con que se funde bajo diversas condiciones de clima y la forma en que se retienen o transmiten la lluvia y la nieve. El estudio de los registros de nevadas y de su acumulación ha proporcionado a los constructores y a muchas otras personas normas para calcular las cargas de nieve que pueden soportar los edificios, y para el diseño y empleo de equipo para fundir y remover la nieve.

WILLIAM E. HIATT *es jefe de la División de Servicios Hidrológicos de la Oficina Climatológica y miembro activo de la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles, así como de la Unión Geofísica Norteamericana, habiéndose especializado en obras hidráulicas e hidrológicas.*

ROBERT W. SCHLOEMER *es jefe de la Sección de Información Doméstica, de la Rama Climatológica Consultiva de la Dirección de Servicios Climatológicos de la Oficina Climatológica.*

¿Está el tiempo sujeto a ciclos?

Ivan R. Tannehill

A MENUDO las sequías e inundaciones nos hacen pensar en posibles ciclos, ritmos o tendencias del clima.

Son obvios los cambios diarios y anuales en las lluvias, y desde hace mucho tiempo se aceptaron como consecuencia del movimiento del sol y de las variaciones consiguientes de la temperatura y de los vientos. Los primeros viajeros mundiales descubrieron que en ciertos sitios la lluvia cae durante un periodo aproximadamente igual casi diariamente. Además, en muchas regiones las estaciones secas y húmedas, u otras variaciones en las lluvias, son más o menos regulares cada año. El conocimiento de alguno de estos fenómenos ha llevado a investigar la posibilidad de los ciclos.

En la mayoría de las áreas terrestres, las variaciones diarias y estacionales en las lluvias no son muy uniformes o seguras. (En esta discusión la lluvia incluye la nieve y otras formas de precipitación.) Los períodos secos y húmedos ocurren a intervalos irregulares, y en muchas regiones es muy común una sucesión de años o estaciones más secos que lo normal, seguidos de extensos periodos de clima lluvioso. Generalmente la lluvia en cantidades adecuadas para la agricultura es más segura en las tierras cercanas al mar. A medida que progresamos hacia adentro se hacen menos regulares, hasta

llegar a los desiertos y regiones áridas. Sin embargo, ocurren excepciones cuyas causas son obvias. Los desiertos de Perú, por ejemplo, se encuentran próximos al océano; pero los vientos marinos húmedos son relativamente fríos y estables y no se mueven hacia arriba, lo que hace que ocurra muy poca o ninguna lluvia, pues de acuerdo con los procesos atmosféricos la lluvia se produce del aire que se enfría en una u otra forma. Los declives montañosos que ven al mar, que tienen vientos húmedos que soplan hacia arriba y que se enfrían, cuentan con lluvias abundantes, mientras que en los declives del lado opuesto el aire se calienta al bajar y se seca, aun cuando no esté lejos del océano.

Por tanto, debido a muchas razones, los ritmos diarios y estacionales de las lluvias son imperfectos, y a veces cesan por completo. A este respecto la lluvia es más difícil de pronosticar que la temperatura. Las variaciones diarias y anuales de temperatura son bastante regulares, aunque ocasionalmente se producen cambios marcados debido a los grandes movimentos horizontales de la atmósfera. Como regla, la temperatura es alta por las tardes y baja en las primeras horas de la mañana, siguiendo lentamente al sol; pero en las latitudes medias y altas la temperatura de cualquier noche es a menudo más elevada que la del día anterior o la del día siguiente. Los veranos varían de fríos a calientes, y los inviernos, de benignos a muy fríos, dependiendo de los grandes movimientos de la atmósfera. De modo más complicado y más frecuentemente que la temperatura, las lluvias se apartan más ampliamente de las normas promedias diarias y estacionales.

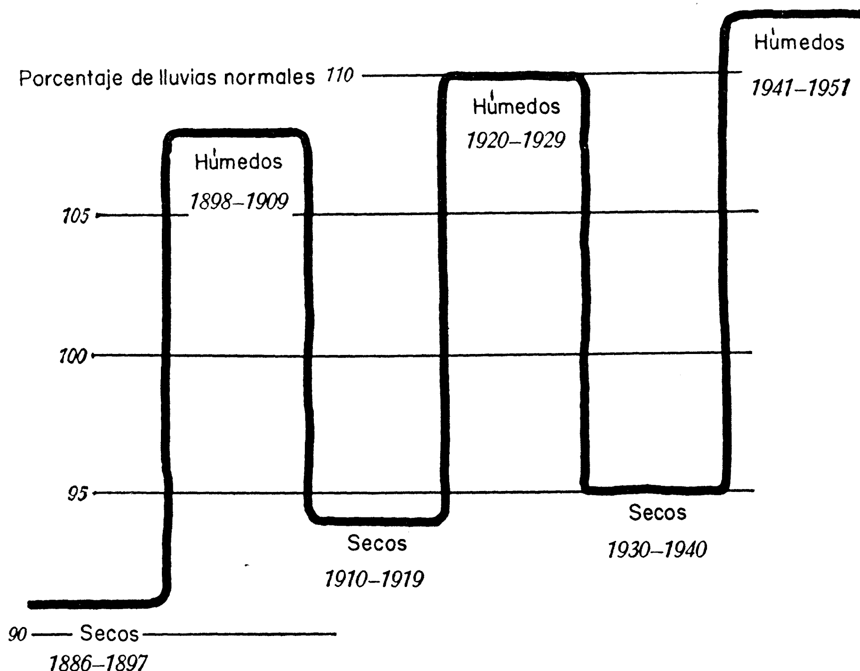
La gran importancia económica de la variación de las lluvias en ciertas partes del globo ha inducido a muchos investigadores a buscar en los ciclos una solución para los pronósticos a largo plazo. En una investigación de muchas teorías, un meteorólogo británico encontró más de 130 ciclos diferentes de los que uno o más investigadores habían encontrado pruebas en los registros climatológicos, y se han indicado muchos más por las medidas de los anillos de la corteza de los árboles, y otros datos, siendo probable que sin importar lo que ocurra a las lluvias, éstas pueden acomodarse a uno o más de esos numerosos ciclos.

Además de las periodicidades diarias y anuales, los ciclos pueden dividirse en dos clases: La primera comprende los que se derivan de los registros sin explicación alguna de su causa, encontrándose en este grupo muchos de los que ocurren durante un periodo de años tan prolongado que actualmente no es posible ninguna comprobación aceptable de ellos. Otros, que se derivan de los análisis hechos en períodos más cortos, perduran por un tiempo y luego fallan completamente o se invierte su fase.

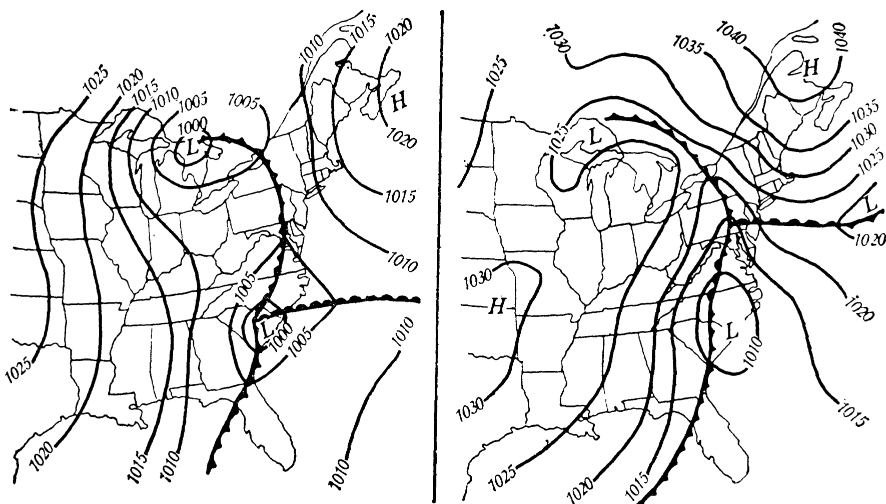
Uno de los más notables fue el ciclo de 35 años, al que se dio el nombre de su autor, Eduard Brückner, un climatólogo de Viena. El ciclo, basado en registros de lluvias desde 1815 a 1890, tenía un promedio de 35 años, pero era bastante variable dentro de los límites de 20 a 50 años. Encontró también pruebas de ese ciclo en los años de 1020 a 1420, basándose principalmente en los registros de los duros inviernos europeos. El ciclo de Brückner se hizo muy popular en años recientes, pero la variación de las lluvias es pequeña y demasiado irregular para que tenga valor definido en los pronósticos.

Casi todas las personas que se ocupan durante un año o más de pronosticar el tiempo por medio de mapas, encuentran de vez en cuando que el último de ellos se asemeja mucho a otro anterior. Si la persona que hace los pronósticos tiene un archivo de mapas atrasados o un índice de ellos, puede refrescar su memoria. A veces, pero no muy a menudo, la semejanza existe y el tiempo parece haberse desarrollado en forma análoga al presente. A ese mapa atrasado se le llama análogo. Para este objeto los mapas de un considerable periodo de tiempo deben catalogarse en tal forma que la persona que hace los pronósticos pueda clasificar el mapa en que trabaja en forma semejante a la clasificación de las huellas digitales, a fin de poder encontrar mapas semejantes que correspondan a la misma estación en otros años. En pruebas efectuadas con mapas que cubren 40 años se

CICLO DE AÑOS SECOS Y HUMEDOS 1886–1951



Patrón cíclico en las lluvias de Oklahoma. El total de lluvias para cada grupo de años dado dentro del diagrama, se muestra como porcentaje de las lluvias normales. Cada grupo de año comienza 3 años antes del mínimo de manchas solares. El grupo actual, que se presume que va de 1952 a 1962, está siendo muy seco, de acuerdo con este ciclo, en gran escala.



El mapa de clima de la izquierda, correspondiente al 8 de noviembre de 1913 (según G. P. Mook), se empleó como análogo por los pronosticadores de la Oficina Climatológica, para hacer una predicción correcta el 25 de noviembre de 1950 de acuerdo con el mapa de la derecha (según C. D. Smith), habiendo ocurrido una tormenta destructora y fuertes nevadas como las que ocurrieron 37 años antes.

han encontrado muchos análogos, pero sólo unos cuantos pueden considerarse como excelentes. Las ventajas de este método rara vez justifican el tiempo que requiere y no se ha empleado como práctica normal en muchas oficinas de pronósticos.

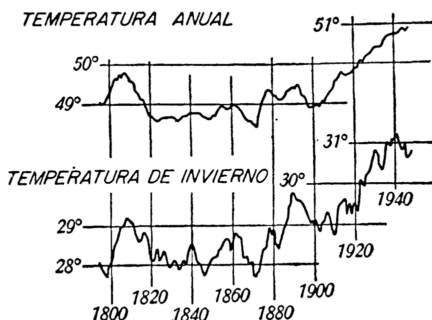
Esto parece indicar la probabilidad de que no existen ciclos o ritmos perfectamente definidos en el clima. Sin embargo, a intervalos puede hacerse un pronóstico excepcionalmente bueno sobre la ocurrencia de condiciones de clima poco frecuentes, debido al recuerdo de un caso semejante, a veces muchos años atrás, por la persona que hizo el pronóstico.

En el segundo grupo de variaciones cíclicas se encuentran aquellas para las que se ha sugerido una fuerza que las motive, sin que puedan explicarse los procesos atmosféricos que llevan de causa a efecto. La luna, por ejemplo, parece tener influencia sobre el clima, pero nadie puede explicar en qué forma. Se han sugerido otras fuerzas de la misma naturaleza (y algunas de ellas posiblemente sean reales), pero ocurre la duda por la falta de una explicación satisfactoria.

Otro grupo de variaciones dentro de esta segunda clase se atribuye a los cambios solares. Se han hecho intentos de demostrar que las variaciones en la energía solar producen cambios en la temperatura y en la circulación atmosférica que parecen explicar ciertos patrones cíclicos en las lluvias. Aunque la hipótesis solar es más aceptable dentro de una base física que muchas otras, falla de dos modos: Primeramente, la circulación atmosférica y sus variaciones son muy complejas y los efectos de los cambios solares son muy difíciles de precisar. De hecho, ninguna teoría aceptable explica completamente la forma en que los efectos solares pueden convertirse en cambios de clima.

En otro aspecto se ha puesto en duda la utilidad de las conclusiones derivadas de la hipótesis solar, ya que los cambios del sol no son regulares.

El ciclo de manchas solares, que tiene un promedio aproximado de 11.3 años, se ha disminuido hasta 7 años o se ha prolongado hasta 17. Hasta la fecha no contamos con ningún método



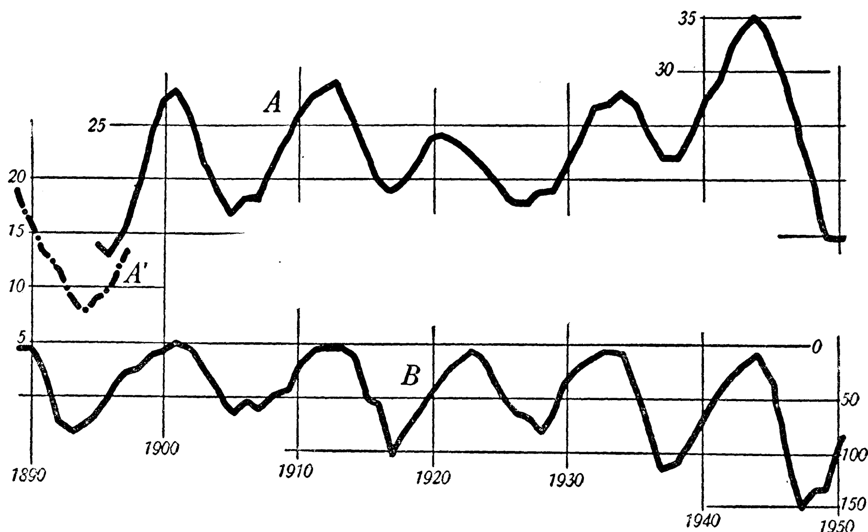
Tendencia a subir en las temperaturas de New Haven, Connecticut, demostrada por los datos de 20 años que terminan en las fechas dadas.

aceptable para predecir esas variaciones solares en forma tal que permita pronosticar en detalle los cambios de clima resultantes.

Durante millones de años de edades geológicas hay pruebas indudables de grandes oscilaciones en el clima de la Tierra, y se ha intentado explicarlas mediante diversas hipótesis. En el caso de las oscilaciones dentro de los tiempos históricos, sin embargo, la evidencia se inclina a dos causas probables: El efecto del polvo arrojado a la atmósfera por las erupciones volcánicas y el de la radiación solar, y sólo esta última es de naturaleza cíclica.

El clima tiene otras características rítmicas o recurrentes. La atmósfera que se encuentra sobre un hemisferio o sobre gran parte de él puede tener una cierta resonancia. El cambio de temperatura que resulta de una sola rotación de la Tierra sobre su eje puede no ser suficiente para iniciar un movimiento en gran escala de la atmósfera; pero el efecto acumulado del calentamiento y enfriamiento en cierto número de revoluciones sucesivas puede causar una resonancia de la atmósfera sobre una región, ocurriendo así un cambio periódico. Esto puede producir lluvias cada quinto o séptimo día o a algún otro intervalo, continuar así durante un mes, más o menos, y cesar luego.

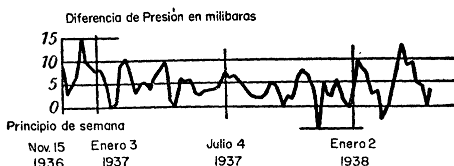
En grandes áreas de los Estados Unidos de Norteamérica el intervalo más común y persistente entre los disturbios productores de lluvia. Sin embargo, este hecho no es muy útil, a menos de que



A, diferencias en las lluvias anuales entre Galveston y Amarillo, Texas (aminoradas). *A'*, las lluvias de Abilene se utilizan en los años anteriores para iniciar los registros de Amarillo. La escala a la izquierda muestra los excesos de las lluvias de Galveston sobre las de Amarillo en pulgadas completas. *B*, número de manchas solares anuales, invertido en la escala inferior de la derecha. El ciclo muestra la migración de lluvias de la costa al interior, y viceversa.

se estudien en un mapa del hemisferio, o de gran parte de él, los movimientos asociados de los sistemas de aire.

Las investigaciones de la parte alta del aire han encontrado un vasto movimiento en forma de ondas en la circulación horizontal de la atmósfera arriba de la tierra. Las características de esta circulación en gran escala alrededor del hemisferio cambian ocasionalmente; pero cualquier patrón determinado tiende a persistir por cierto tiempo, creando disturbios característicos de lluvias en la tierra que se encuentra abajo. Los vientos a nivel muy alto sobre los Estados Unidos de Norte-



Ejemplos de variaciones en los valores semanales del índice de zona, diferencias de presión entre los 35° y 55° de latitud en milivaras, en la escala de la izquierda. Mientras más altos son esos valores, son más fuertes los vientos del Oeste en las latitudes medias.

américa en años recientes de sequía, por ejemplo, tienen algunas de las mismas características que los años secos de la década de 1930.

Algunos sabios creen que ocurren grandes oscilaciones entre partes distantes de la atmósfera, que permitirían decir, por ejemplo, que un clima poco común en cierta región del mundo en diciembre puede indicar o pronosticar tiempo seco en alguna otra parte del globo durante el mes siguiente. Se han llevado a cabo enormes tareas para la correlación de datos de presión, temperatura y lluvias, en lugares dados alrededor del globo, durante meses o estaciones sucesivas; pero sus resultados no han producido nada que sea definitivamente útil. Sin embargo, se han hecho más pronósticos del tiempo de "causa y efecto" mediante este método que con cualquier otro. Sin embargo, las razones apuntadas para la existencia de esas correlaciones son muy vagas.

Otros fenómenos de clima de tipo recurrente se conocen como singularidades, y son los periodos de tiempo más caliente, más frío, más lluvioso o más seco que lo normal durante la estación, que se

producen durante ciertas épocas cada año. Los estados del Noroeste, tienen su deshielo de enero y su verano indio, y en Europa se conocen períodos de clima semejantes. Las tempestades de invierno en algunas partes de Europa tienden a ocurrir en la misma época cada año. Esos períodos y recurrencias tienen indudablemente una base física. Los huracanes ocurren en su mayoría durante los mismos meses de cada año, y, por lo tanto, debe ser cierto que el calor de los océanos, que va detrás de los cambios más rápidos de temperatura en los continentes, es una causa principal de ellos; pero admitiendo que esto sea cierto, los huracanes constituyen sólo una parte del ciclo anual.

A medida que estudiamos la literatura y la sorprendente cantidad de trabajo que se ha llevado a cabo en tantas fases de esta cuestión, llegamos a una conclusión bien definida: El problema es muy complejo y debe sospecharse de cualquier ciclo o ritmo que aparezca de tiempo en tiempo en los registros de lluvias.

Aun cuando los llamados ciclos o ritmos se comprobaran bajo una base física razonable, nos vemos obligados por otra razón a verlos con cautela. Ocurren en el clima extensos movimientos o tendencias, tales como la elevación de la temperatura en ciertas partes del mundo en el siglo actual, tan notable recientemente en invierno en las zonas del Este y del Norte de este país, y que ha sido más pronunciada en algunas regiones árticas. A medida que esta tendencia se vuelve dominante puede disminuir gradualmente un ritmo local o periodicidad que dependa en parte de la recurrencia de inviernos fríos, desapareciendo finalmente o moviéndose hacia latitudes más altas. Por otra parte, los registros exactos de clima son generalmente demasiado breves para determinar la naturaleza y causa de esas llamadas tendencias o para precisar su curso futuro. Es muy posible que los cambios progresivos a largo plazo en los climas lluviosos sean cíclicos o rítmicos, pero que tengan tan largos períodos que nuestros registros no muestran esos hechos.

A medida que aumenta la población mundial, algunas partes del problema asumen una importancia tremenda. En los Estados Unidos de Norteamérica los climas lluviosos varían desde los superhúmedos, en algunos estados del Este y del Sur, hasta los climas secos de las grandes regiones del Oeste y Sudoeste. En varias regiones nos enfrentamos al problema por medio de los riegos, del desagüe, del control de las inundaciones, de la conservación de la tierra y otras prácticas semejantes. En una amplia región, sin embargo, donde las lluvias normalmente son adecuadas para la agricultura (aunque en forma escasa en algunas áreas marginales), son tan variables que con frecuencia sus extremos causan desastres mayores o menores. En cierto grado, esas situaciones se hacen más peligrosas por las actividades del hombre, tales como el cultivo y el desnudamiento de la tierra, que eliminan cierta parte de los controles estabilizadores naturales y contribuyen a esos desastres, por lo menos en áreas locales.

EL METEORÓLOGO que lucha con estos problemas adopta una o dos líneas generales de ataque, dependiendo de su capacidad para comprender lo que sucede o para calcular de acuerdo con los movimientos, tendencias o ritmos que aparecen en los registros. En ninguno de esos casos se encuentra en terreno muy sólido, pero hay dos fases del trabajo que son decididamente prometedoras:

Primeramente, los patrones en gran escala de la circulación atmosférica tienden a persistir o a cambiar lentamente, proporcionando así correlaciones útiles con las características principales del clima en la superficie de la tierra. En este trabajo el meteorólogo trata de prolongar su opinión más de 30 días en el futuro. Debe contar para ello con un conocimiento íntimo del impacto del cambio en una región sobre otras regiones remotas. Por ejemplo, en ciertas épocas críticas del año pueden cambiar los patrones, y una constante vigilancia proporciona a menudo deducciones que son muy útiles para la planeación en la agricultura y en la industria. Aquí el meteorólogo cuenta con cierto respaldo de la experiencia, porque sus predecesores, desde fines del siglo XIX, concibieron el concepto de "centros de acción" para aplicarlo a las

condiciones de clima superficial alrededor del globo. Examinaron esos centros (por ejemplo, las altas continentales y las bajas de las islas Aleutianas y de Islandia, así como las células de alta presión oceánica) buscando indicios del clima en lo futuro más allá de las predicciones diarias de ciertas regiones. Más recientemente el meteorólogo ha conocido la causa de que los centros de acción se comporten en la forma que lo hacen, al relacionarlos con las ondas planetarias superiores.

Hace aproximadamente 15 años los meteorólogos de los Estados Unidos de Norteamérica introdujeron la idea del índice de zona, una medida de la velocidad de los vientos del Oeste en las latitudes medias como parte de la circulación general. Cuando la presión aumenta de Norte a Sur en esta zona, el índice es "alto". Cuando disminuye de Norte a Sur en la misma zona, el índice es "bajo". Más recientemente se ha demostrado que hay una variación en este índice que es irregular, y a la que se ha llamado ciclo de índice. El intervalo de tiempo es de 4 a 6 semanas. El índice de zona se relaciona con la forma de la circulación general de la atmósfera, y especialmente con la posición y desarrollo de los centros de acción. A su vez el clima, incluyendo las lluvias, se relaciona con los cambios del índice; pero el ciclo es irregular y, como ocurre con la mayoría de los llamados ciclos de clima, el meteorólogo es incapaz de predecir los cambios de ese índice con una precisión satisfactoria.

En la segunda fase, el meteorólogo intenta asociar el clima con la actividad solar para encontrar una medida adecuada de las variaciones de esta última, seguir sus efectos a través de la atmósfera y explicar los resultados en términos de cambios de clima, incluyendo las anomalías de las lluvias. En esto hay cierta esperanza de progresos ulteriores, a medida que aumenta la comprensión de los cambios solares por el hombre y que se mejora la información relacionada con la atmósfera por medio de globos sondas e investigaciones con cohetes.

Hay cierta evidencia de algunos efectos importantes, tales como la migración de las lluvias a largo plazo y en gran escala hacia el interior de los Estados Unidos de Norteamérica, que es consecuencia de la elevada radiación solar y de su migración a las áreas costeras cuando esa radiación es baja. Los resultados son semejantes a la migración anual que acompaña a los cambios estacionales en la insolación. Además, hay también indicaciones de cambios en las lluvias de los meses más calientes a los más fríos, y viceversa, a medida que la radiación aumenta o disminuye. No puede pasarse por alto la evidencia total acumulada dudante los últimos cien años para demostrar esos importantes efectos solares. Las combinaciones de estas variedades rítmicas proporcionan un índice de cambios a largo plazo en las lluvias; pero actualmente parece razonable concluir que los resultados prácticos en un futuro inmediato se limitarán a indicaciones muy generales para los próximos años venideros, útiles desde el punto de vista de planeamiento, pero que todavía no pueden aplicarse en detalle a los prospectos de una sola estación o aun de un solo año. En esta fase el trabajo del meteorólogo dependerá en gran parte de la capacidad del astrofísico para predecir cambios a largo y a corto plazo en la actividad solar.

Por las razones anteriores no ha sido todavía posible llenar las grandes lagunas que existen entre la proyección de los patrones atmosféricos ordinarios a un posible futuro de 30 días o más, y, por otra parte, entre los detalles que pueden derivarse de los análisis de los efectos de los cambios solares a largo plazo; pero hay grandes esperanzas de que el meteorólogo pueda hacer progresos más rápidos a medida que acumulamos mayor cantidad de información sobre las regiones superiores del aire.

Se ha llevado a cabo una enorme cantidad de trabajo sobre los ciclos de las lluvias y problemas relacionados con ellos, en forma desorganizada, por personas que dependen de alguna otra actividad para ganarse la vida. La razón principal consiste en que hace muchos años los sabios llegaron a la conclusión bien definida de que no hay verdaderos ciclos en las lluvias. Se cree que hay sólo ciertas variaciones rítmicas que pueden y deben con-

siderarse bajo una base física tan pronto como tengamos conocimientos más completos de los complejos cambios que ocurren en la atmósfera de la tierra como resultado de sus propias reacciones internas y del impacto de fuerzas extraterrestres. Se han hecho algunos progresos útiles hacia la comprensión de los procesos físicos relacionados, más bien que hacia la dependencia de ciclos o ritmos como tales, y en cualquier caso, ya sea que el investigador dependa de uno u otro de estos métodos, es innegable que debe de emplear mapas climatológicos para obtener aspectos tridimensionales de la atmósfera durante el tiempo de que se trate, ya sea que representen datos para una semana, un mes o uno o más años. Bajo esta base el meteorólogo está obteniendo progresos lentos pero bien definidos.

IVAN R. TANNEHILL *fue jefe de la División de Pronósticos e Informes Sinópticos de la Oficina Climatológica desde 1940 a 1954, así como ayudante en jefe de la Oficina de Operaciones hasta su retiro en 1954.*

Cómo obtener más agua del cielo

Charles Gardner, Jr.

HAY UN GRAN RÍO en el cielo, complicado, turbulento, tumultuoso, compuesto de aire y agua.

A veces, cuando el agua se encuentra en forma de vapor, no podemos verla. Otras veces las gotitas de agua transportadas por el aire se juntan en forma de nubes que, naturalmente, pueden verse. Esto no quiere decir que las nubes contengan agua y que el aire que las rodea no la tenga, porque ese aire contiene vapor que fluye a menudo a las nubes y, a su vez, éstas se disuelven en vapor y desaparecen; pero las nubes que ven nuestros ojos contienen agua que ha avanzado un paso en el proceso para convertirse en lluvia.

Con las nubes podemos tener lluvia, pero no sin ellas.

Sin embargo, con las nubes no tenemos lluvia forzosamente. A menudo las gotitas de agua no dan el siguiente paso para convertirse en gotas de lluvia, o sea el acrecentamiento de agua en cantidad suficiente para que caigan a la tierra.

Esto exaspera al agricultor que ve que unas hermosas nubes que aparentemente contienen grandes cantidades de humedad, flotan sobre sus campos secos y no llegan a precipitar ni siquiera una pequeña parte de la humedad que contienen y que fluye a ellas. Los estudios de los censos de nubes han demostrado que las estaciones que tienen considerable cobertura de nubes pueden ser también las estaciones de sequía.

¿A qué se debe todo esto? ¿Podemos obligar a las gotitas a que se conviertan en gotas lo suficientemente pesadas para que caigan a la tierra? ¿Podemos obtener del cielo la humedad que necesitamos?

Hace unos cuantos años, muchos de nosotros creímos tener la respuesta: Se había teorizado durante algún tiempo que las diminutas partículas de polvo, presentes en toda la atmósfera, constituían un ingrediente necesario de la lluvia, algo que permitía que las gotitas se agruparan y crecieran. En 1946, el doctor Vincent J. Schaefer, de la Compañía General Electric, espolvoreó partículas de hielo seco desde un aeroplano y produjo la precipitación. Un poco más tarde, el doctor Bernard Vonnegut, de la General Electric, descubrió que el yoduro de plata era la partícula o cristal ideal. Unos cuantos experimentos produjeron resultados aparentemente sorprendentes.

Así se creó la "forma científica de producir las lluvias", cuya base científica era la "nucleización artificial", es decir, el suministro de núcleos o partículas artificiales a aquellas nubes que se creía que carecían de suficientes núcleos naturales.

Debemos insertar aquí un comentario sobre la terminología. La frase "producción de lluvias" parece implicar la creación de agua, siendo así que los llamados "productores de lluvias" no pueden producir el agua si ésta no existe ya en el aire. Probablemente debería usarse el tér-

mino "incrementación de lluvias". Más aún, la frase "control del clima" implica el manejo de los elementos más allá de nuestras concepciones actuales. Probablemente el término "modificación del clima" expresa con más precisión lo que ahora nos imaginamos. Sin embargo, los términos "producción de lluvias" y "control del clima" se han vuelto comunes y se reconocen más fácilmente.

La nucleización artificial se relaciona con la teoría de los cristales de hielo, de acuerdo con la cual ocurre una formación natural de cristales de hielo a temperaturas bastante bajas (—40° F.). Se supone que esos cristales crecen atrayendo más partículas de humedad hasta que se vuelven lo suficientemente pesados para caer de las nubes en forma de nieve, que a su vez se funde en su caída y se convierte en lluvia.

El dejar caer hielo seco (bióxido de carbono) en las nubes enfría ciertas áreas de ellas e inicia el proceso de formación de cristales, pudiendo ese efecto ser considerable si las nubes se encuentran vecinas a la temperatura en que se forman naturalmente los cristales de hielo. El suministrar núcleos a las nubes no las enfría; pero con esos núcleos la formación de cristales ocurre a temperaturas más elevadas, es decir, bajo el punto de congelación pero más próximas a él. Algunos núcleos naturales o partículas de polvo inician el proceso a temperaturas entre —40° y 5°, pero los cristales de yoduro de plata (núcleos artificiales) lo inician entre 5° y 25°.

Por lo tanto, el yoduro de plata no sólo puede iniciar la lluvia en nubes que están demasiado calientes para la producción de lluvia natural, sino que puede aumentar la lluvia de aquellas nubes que ya están produciendo pequeñas cantidades de ella, nucleizando las zonas más bajas y calientes de las mismas.

Hay otro método interesante de producir lluvias, aunque no tiene importancia comercial. En las regiones calientes las nubes que no se congelan producen lluvia, debido probablemente a algún otro proceso diferente del de formación de cristales de hielo.

Se cree comúnmente que la precipitación se produce cuando caen gotas de agua mayores que las normales en relación con otras de ellas, juntando suficientes gotas pequeñas hasta alcanzar el tamaño de gotas de lluvia lo suficientemente grandes para caer de las nubes. La solución consiste en proporcionar esas gotas más grandes.

Las nubes de esta categoría, que se encuentran en los estados del Sur y más hacia el Norte en verano, se han sembrado con éxito rociándolas con agua desde un aeroplano.

Sin embargo, hacer funcionar un aeroplano cuesta dinero, y el volar entre nubes de tormento puede ser peligroso, por lo que los grandes "sembradores de nubes" comerciales no usan hielo seco o agua, sino que emplean el yoduro de plata que puede disiparse por medio de generadores de superficie. Los diminutos cristales se desprenden de los generadores y se supone que son absorbidos por la succión hacia arriba que ejercen las nubes de tormenta.

La nucleización artificial ha tenido un gran impacto en la nación y especialmente, aunque no de modo exclusivo, en el Oeste, en donde casi siempre se necesita más agua. Para aquellos que han estudiado los aspectos económicos parece elemental que los estados del Este y del Sur pueden obtener mayores beneficios con la producción de lluvias, que se traduzcan en dólares, si se obtiene el éxito que hacen suponer ciertos experimentos, que las áreas secas del Sudoeste.

En época reciente las "áreas de blanco" de la producción científica de lluvias en nuestro país comprendían una cantidad de acres 13 veces mayor que la que recibe riegos, y una encuesta demostró que el 20% del área nacional está comprendido entre los proyectos para producir lluvias.

Los cálculos son más bien aventurados y probablemente erróneos; pero sugieren que la producción de lluvias es un negocio de gran importancia, aun con sus incertidumbres.

En una reciente investigación del Comité Consultivo sobre Control de Clima, una agencia federal temporal establecida para averiguar "quién está haciendo qué cosa y con qué resultados", reveló que 13

estados han promulgado ya leyes relativas a la producción de lluvias, y que en 8 estados más había leyes semejantes pendientes de aprobación.

La mayor parte de esa legislación ha asumido que los productores de lluvia han modificado realmente el clima en forma significativa, creencia que no comparte completamente la mayoría de los sabios que están familiarizados con el problema. Gran parte de ellos parecen estar de acuerdo en que los agentes nucleizadores pueden modificar el clima bajo ciertas circunstancias. Algunos piensan que esas circunstancias ocurren con la frecuencia suficiente para que el hombre pueda cambiar todo el patrón de distribución de agua en los Estados Unidos de Norteamérica, con enorme impacto consiguiente en la economía. Otros dudan que se produzcan en gran escala esos efectos, y la mayoría de ellos dicen: "Hay todavía mucho que aprender en relación con el proceso de producción de lluvias antes de que podamos opinar."

De cualquier modo es interesante el hecho de que cinco legislaturas, compuestas en su mayoría de hombres prácticos, hayan proclamado la soberanía de sus estados sobre la humedad atmosférica que los cubre. La posibilidad de que otros estados puedan aprovechar en una u otra forma la humedad que por derecho corresponde a sus estados, parece preocupar a esos cuerpos legislativos.

EL ARGUMENTO común de robar a Pedro para pagar a Pablo tiene un lugar principal en las mentes de muchos habitantes del Oeste, que creen que el incremento de las lluvias en las áreas que están en dirección del viento debe significar necesariamente su disminución en las áreas que se encuentran contra el viento, y los habitantes del Sudoeste, que han sufrido de sequías en estos últimos años, creen implícitamente en ese argumento.

Los productores de lluvias combaten el argumento diciendo que la naturaleza es una productora de lluvias poco eficiente, ya que, aproximadamente, sólo el 1% de la humedad de las nubes cae a la tierra durante una tormenta ordinaria, y que al suministrar mayor cantidad de núcleos pueden elevar esa eficiencia hasta un 2%. Esas cantidades son insignificantes, dicen, y las vastas corrientes de humedad que flotan en el cielo repondrán de nuevo casi inmediatamente el caudal de las nubes.

Cualquiera que sea la verdad de lo anterior, probablemente la producción de lluvias, vista en gran escala, aumentará de modo considerable las cantidades de agua exentas de minerales que queden disponibles para ser utilizadas por el hombre.

POR UNA PARTE parece absolutamente obvio que muchas corrientes de humedad transportadas por el viento escapan de la tierra y devuelven a los mares gran parte de su agua. La producción de lluvias podría hacer posible el mejor aprovechamiento del potencial de lluvias de esas corrientes transportadas por el aire antes de que escapen. Por otra parte, se ha sugerido que la precipitación de humedad de las nubes en las etapas iniciales del desarrollo de una tormenta podría acelerar el ciclo hidrológico y establecer un nuevo régimen de lluvias, lo que significaría un incremento en la utilización y uso repetido de la humedad contenida en el aire.

Pero aun suponiendo que la producción de lluvias no pudiera aumentar el total neto de humedad de la tierra, podría afectar de todas maneras la distribución de esa humedad en tal forma que produzca enormes beneficios económicos.

¿REALMENTE DA RESULTADO? Esa es la pregunta que hacen los agricultores, y los sabios contestan que en ciertas circunstancias sí se obtienen esos resultados.

La siembra con hielo seco y agua ha modificado realmente las nubes y ha producido precipitaciones, y el yoduro de plata puede hacer lo mismo.

Sin embargo, los sabios no están de acuerdo en que el medio más económico de siembra de nubes por medio de generadores de superficie haya producido o pueda producir los considerables aumentos de lluvia y nieve que aseguran haber obtenido los "sembradores de nubes" particulares.

Con el método de generaciones de su-

perficie, es inherente el problema de evaluación. Al sembrar con hielo seco o agua, el operador puede ordinariamente volver la vista y ver los resultados. A menudo las nubes sembradas cambian de forma y la precipitación ocurre ante su vista; pero cuando el mismo operador proyecta yoduro de plata por medio de un generador, no puede ver la substancia. ¿Produce el generador cristales de tamaño adecuado? ¿Llegan a las nubes de tormenta en cantidades suficientes y a la altura debida? ¿Conserva el yoduro de plata su eficacia o disminuye ésta a causa de la temperatura, presión o exposición a los rayos ultravioleta? Recordemos el dicho común de que del plato a la boca se cae la sopa.

El hecho de que esas siembras ocurren generalmente bajo condiciones de tormenta cuando cae ordinariamente por lo menos alguna lluvia natural, hace que en la mayoría de los casos sean imposibles las observaciones visuales y que la apreciación de cualquier aumento debido al hombre sea extremadamente complicada.

Por lo tanto, en vez de poder apreciar la causa y el efecto, el operador se ve obligado a adivinar y tiene que intentar la medición del aumento debido al hombre por medio de una evaluación estadística. Tiene que comparar la lluvia sobre el "área de blanco" con la lluvia de años anteriores, o más comúnmente con la lluvia que ha caído en regiones adyacentes.

Los análisis estadísticos, que ordinariamente son suministrados por el mismo sembrador de nubes, y que son mal comprendidos por las personas impreparadas, a menudo pueden dar resultados espectaculares y convincentes; pero a veces otras personas pueden utilizar las mismas cifras y obtener resultados totalmente distintos. En ocasiones los encargados de las estadísticas pueden esconder esos buenos resultados bajo un montón de cifras, y todo ello da lugar a controversias.

En sí esos análisis son bastante complicados, pero el problema de análisis puede expresarse en forma muy sencilla.

Cuando el área de blanco obtiene más cantidad de lluvia que las que la rodean, digamos tres áreas de control denominadas "A", "B" y "C", el sembrador de nubes generalmente deja satisfechos a sus clientes. Sin embargo, el centro de una tormenta puede haber pasado sobre el área de blanco, produciendo naturalmente esos resultados sin que en realidad el sembrador de nubes haya logrado nada.

Cuando el área de blanco recibe más lluvia que la "A" y "B", pero menos que la "C", los clientes pueden abrigar algunas dudas, y cuando el área de blanco recibe menos lluvias que la "A", "B" y "C", se vuelven totalmente escépticos. Sin embargo, en ambos casos el sembrador de nubes puede haber hecho que la lluvia recibida sobre el área de blanco sea mayor que la que hubiera caído naturalmente.

Las lluvias sobre las áreas de blanco caen generalmente dentro del dominio de las variaciones históricas. Por lo tanto, siempre podemos creer que esos aumentos sólo sean accidentales. Si supiéramos cuánta lluvia caería naturalmente, podríamos evaluarlos perfectamente; pero esto no lo sabremos nunca y tenemos que contentarnos con un substituto estadístico.

La falta de comprensión del problema conduce a confusiones. Muchos agricultores se vuelven entusiastas creyentes y otros se tornan escépticos convencidos. Por lo tanto, los trabajos experimentales financiados por los agricultores y rancheros continúan en forma desigual y aventurada, y no proporcionan datos que tengan un valor real para determinar los resultados totales obtenidos. Para evitar tratar con grandes grupos que pueden tener intereses y opiniones contradictorios, algunos sembradores de nubes sólo trabajan para las empresas, especialmente para las compañías de servicios públicos que producen energía hidroeléctrica; pero los agricultores continúan apoyando esos proyectos, debido principalmente a que el costo de la siembra de nubes se calcula solamente en centavos (de 5 a 10 centavos por acre, ordinariamente), mientras que el incremento de las lluvias significa dólares.

El estudio de toda la cuenca de un río en los Estados Unidos de Norteamérica, basado en presunciones físicas con-

siderablemente más modestas que las suministradas por algunos sembradores de nubes, mostró una proporción de beneficio a costo de 20 a 1. Es obvio que los experimentos en ciertas áreas, posiblemente en las montañosas donde los movimientos de aire tienden naturalmente a llevar el humo del yoduro de plata hasta las nubes, y en donde las temperaturas sean más favorables, deben mostrar una proporción mayor de beneficio a costo. Los experimentos en algunas áreas deben dar resultados de carácter marginal.

Los experimentos efectuados en los Estados Unidos de Norteamérica han despertado gran interés en los países extranjeros, y por lo menos 26 naciones de todos los continentes, a excepción del antártico, han efectuado pruebas en años recientes.

Los agricultores del Africa del Sur han usado cohetes para dispersar el yoduro de plata a grandes alturas, a fin de disminuir los daños del granizo. Los agricultores de la región de Bayona, en Francia, han empleado generadores de superficie con el mismo objeto. La teoría de la prevención del granizo establece que al precipitar la humedad en las etapas iniciales, la siembra de lluvias puede evitar el desarrollo de las grandes tempestades productoras del granizo. Se aplica la misma teoría a la prevención de los rayos, y, por lo tanto, es de interés para aquellos que tienen la responsabilidad de combatir incendios forestales. Algunos sembradores de lluvias en los Estados Unidos de Norteamérica gustan de los proyectos de prevención de granizo, debido a que aunque los agricultores no siempre desean más lluvias, siempre están deseosos de evitar el granizo, si pueden hacerlo, y, por lo tanto, esos proyectos cuentan con un continuo apoyo económico.

En Formosa y Suecia se han emprendido proyectos para incrementar la energía hidroeléctrica, y los propietarios de plantaciones de caña de azúcar en Cuba han financiado proyectos para el aumento de las lluvias, a pesar del promedio de más de 60 pulgadas anuales de precipitación. Las lluvias adicionales significan un aumento de la caña de azúcar. Gran parte del trabajo efectuado en los países extranjeros ha sido de gran valor, pero, sin embargo, no ha proporcionado todavía una solución positiva.

Conociendo el problema de evaluación, el Congreso creó el Comité Consultor sobre Control de Clima, que inició sus trabajos el 1º de julio de 1954. El senador Francis Case, de South Dakota, y el senador Clinton P. Anderson de New Mexico, antiguo secretario de Agricultura, autores principales del proyecto, iniciaron los trabajos para obtener su aprobación en 1950.

El Comité Consultor, agencia federal temporal, tenía como fines "estudiar y evaluar los experimentos públicos y privados para el control del clima" y recomendar hasta qué grado los Estados Unidos de Norteamérica deberían "ocuparse de experimentar o reglamentar" las actividades de control de clima. El Congreso fijó el 30 de junio de 1956 como fecha para presentar un informe definitivo.

¿Por qué es necesario un comité federal? Desde luego el Congreso creyó que podría hacer una evaluación independiente e imparcial, exenta de toda tendencia que pudiera considerarse, con razón o sin ella, como enderezada contra la evaluación de los sembradores de nubes. Además, podía inspeccionar todo el campo experimental y no solamente unos cuantos de esos experimentos, y la ley le concedió la autoridad necesaria para exigir informes de los sembradores.

El análisis de los experimentos proporcionará algunas respuestas que ayudarán a los agricultores y a otros usuarios del agua para decidir si las actividades de control de clima constituyen una buena inversión o no; pero las verdaderas y positivas respuestas se obtendrán con la investigación ulterior de los procesos de lluvia. El cielo es un laboratorio turbulento a impredecible, y las investigaciones sobre el clima son difíciles y a menudo descorazonadoras. De todos modos, la ciencia se mueve inexorablemente hacia adelante, descubriendo más y más acerca de las posibilidades de modificar o controlar el clima.

Probablemente esas posibilidades se reducirán a ciertas aplicaciones limitadas. Sin embargo, es muy posible que el control del clima pueda constituir una ca-

racterística regular de la producción de cosechas.

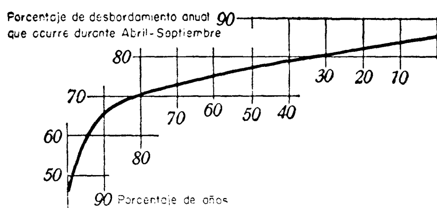
CHARLES GARDNER, JR., *fue nombrado Secretario Ejecutivo del Comité Consultor sobre Control de Clima en 1954, habiendo trabajado anteriormente como Secretario Ejecutivo de la Comisión de Recursos Naturales de South Dakota.*

La medición de las nieves para predecir los suministros de agua

R. A. Work

GRAN PARTE del flujo anual de los ríos en nuestros estados del Oeste se recibe en primavera y verano. Esto se debe a que la precipitación en las altas vertientes hidráulicas montañosas cae principalmente en forma de nieve y se conserva en ese estado durante el invierno hasta que el calor de la primavera la funde, dejando que fluya a los valles inferiores.

En otras partes del Oeste la proporción del flujo estacional al flujo anual total es siempre elevada; pero varía de un arroyo a otro o de un año a otro en el mismo arroyo, lo que hace necesaria la predicción del flujo estacional que ocurre ordinariamente de abril a septiembre, el período de escasas o ningunas lluvias, así como la estación en que hay más necesidad del agua para las cosechas. Es también la época en que la fusión de las nieves puede causar abundantes y destructoras inundaciones.



Esta gráfica muestra la relación del flujo estacional (abril-septiembre) con el flujo total anual (año de arroyo de octubre-septiembre) para un arroyo occidental típico alimentado con nieves, la rama sur del río Ogden, aforada cerca de Huntsville, Utah. El arroyo se usa extensamente para el riego de pequeñas unidades de granjas. En el 50% de los años, más del 75% del desbordamiento total ocurre durante la estación de riego, de abril a septiembre. La producción estacional registrada, varía históricamente de 45 a 88% del desbordamiento total anual.

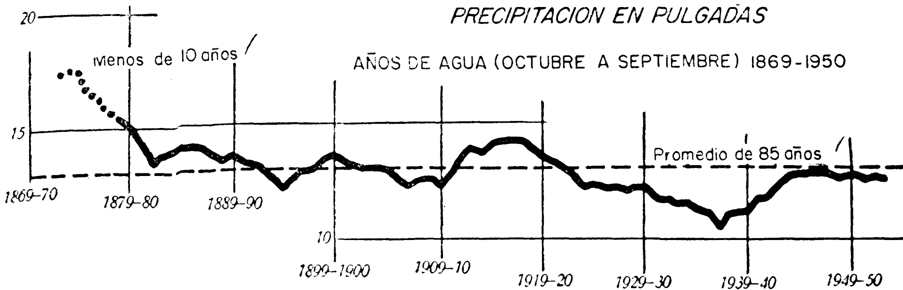
Para medir la cantidad de nieve en las vertientes hidráulicas y poder predecir así el flujo de los ríos, algunos meses más tarde se efectúan inspecciones de las nieves en las montañas del Oeste. Esas inspecciones se planearon originalmente para predecir el suministro estacional de agua para riego y se han convertido en instrumentos para el mejor aprovechamiento del agua por la industria, empresas productoras de energía, municipalidades, agencias para el control de inundaciones, agencias de conservación, pesquerías, organizaciones de fauna y otras.

Los registros, la historia y el crecimiento del Oeste nos dan otras razones para este importante trabajo.

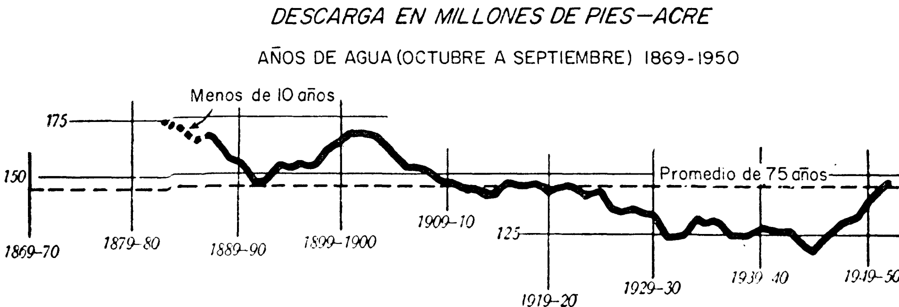
Nuestros registros muestran que la precipitación, así como el desbordamiento, pueden apartarse considerablemente de los promedios en cualquier año, o en pequeñas cantidades durante una serie relacionada de años. En periodos de 20 a 30 años, o más, el patrón general de precipitación para una localidad o cuenca determinada puede permanecer casi continuamente arriba o abajo de los promedios registrados.

Las gráficas de precipitación anual que se dan al final de este artículo para el año de flujo de arroyos (octubre a septiembre), así como del desbordamiento anual del río Columbia en Dalles, Oregon, indican que durante los últimos 75 años ha habido una tendencia hacia precipitaciones y desbordamientos más bajos en ese vasto sistema fluvial, aunque en años recientes ha habido cierta recuperación, tanto en precipitación como en flujo de los arroyos.

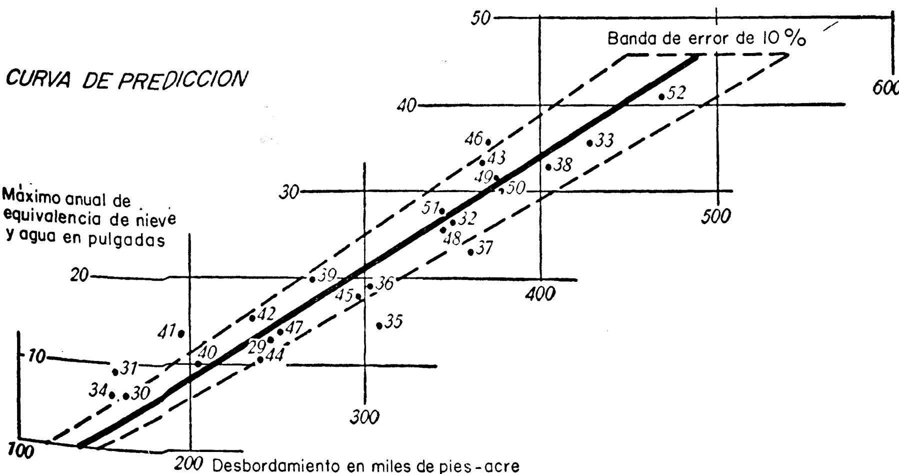
El incremento en el aprovechamiento del agua río arriba ha producido una pequeña parte de la disminución del flujo anual del río Columbia desde 1900 hasta los principios de la década de 1940. La gran mayoría de esa disminución parece estar relacionada con una diferencial climatológica del promedio.



La precipitación anual para el año de arroyo (octubre-septiembre) registrada en Boyce, Idaho, por la Oficina Climatológica de los Estados Unidos de Norteamérica, se da aquí como promedio común de 10 años.



El desbordamiento anual del río Columbia en Dalles, Oregon (el mayor desbordamiento continuo registrado al Oeste del Mississippi), trazado aquí como promedio común de 10 años y corregido por la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica para usarse en consumos río arriba, se muestra aquí durante el periodo máximo.



El valor anual usado para el equivalente de nieve y agua es el contenido máximo de agua acumulado en el manto de nieve durante todo el invierno. La línea de mejor acomodamiento resultante se vuelve más precisa con la obtención de nuevos registros cada año.

Alrededor de 1916, las cuencas de los ríos del Oeste entraron en un periodo de precipitación muy inferior al de años anteriores, periodo que duró casi 25 años. Las pérdidas económicas fueron muy graves y se retrasó el desarrollo de muchas áreas. De aquí a muchos años podremos saber si las recientes tendencias al aumento de precipitación y desbordamiento en muchas cuencas de ríos occidentales, pero no en todas, constituye una recuperación temporal o de larga duración. A la inversa, la actual predicción de una extensión o empeoramiento de la sequía de 1952 a 1955 en New Mexico y otras partes del Sudoeste sería de dudoso valor, porque hasta ahora las predicciones de ciclos de precipitación a largo plazo no han tenido ningún fundamento.

De hecho, la conclusión más satisfactoria de los estudios de la precipitación parece ser que cada año o serie de años consecutivos de sequía nos aproxima más a un año o serie de años húmedos; pero este tipo de predicción no satisface las necesidades económicas de los cientos de miles de usuarios del agua en el Oeste que tienen la responsabilidad del planeamiento inmediato para la mejor utilización de los suministros estacionales de agua.

Por lo tanto, a partir del apogeo de la grave sequía de la década de 1930, los usuarios de agua comenzaron a perfeccionar los sistemas de inspección de nieves como base segura para la predicción del flujo estacional de los ríos occidentales.

LAS INSPECCIONES de nieves determinan rápidamente y de manera precisa la cantidad de agua acumulada en el manto de nieve montañoso.

Se introduce verticalmente un tubo de muestreo ranurado de aluminio, que tiene en su extremo un cortador circular en forma de sierra, desde la superficie de la nieve hasta tocar la tierra que se encuentra debajo de ella. Cuando se saca el tubo, un tapón de tierra o muestras de desperdicios en el cortador prueban que se tomó una muestra de la profundidad total de la capa de nieve.

Comúnmente se toman de 10 a 15 muestras, o las suficientes para proporcionar un promedio aceptable. Los puntos de muestreo quedan separados por espacios que ordinariamente están a una distancia de 50 a 100 pies a lo largo de una ruta previamente marcada y planificada. Las muestras se toman cada año en los mismos sitios.

Las redes independientes de medición de nieves en el Oeste quedaron coordinadas aproximadamente en 1935 por la Oficina de Ingeniería Agrícola, que estaba efectuando inspecciones de nieves a fin de predecir las existencias de aguas de riego. Más tarde se encargó de estos trabajos a los Servicios de Conservación de Tierras, y en 1955 existían en el Oeste más de 1,200 rutas de inspección de nieves.

El trabajo se lleva a cabo por un personal especialmente adiestrado en montañismo y en recorridos de toda clase de campos de nieve en el territorio, que procede en su mayoría de las filas de los Servicios Forestal y de Conservación de Tierras. Durante 13 estaciones consecutivas hasta 1954, cubrieron las rutas señaladas moviéndose en esquíes y zapatos de nieve y caminando más de 300,000 millas sin un solo accidente, habiendo obtenido casi 575,000 muestras de nieve. Estos hombres viajan en parejas como medida de seguridad, porque sus rutas atraviesan las zonas más abruptas del Oeste.

El empleo de aeroplanos ha disminuido el costo de las inspecciones. Los pilotos de aeroplanos ligeros dotados de esquíes aterrizan en las praderas o en los claros y toman muestras, y en algunos lugares se colocan marcadores de diseño especial en las rutas de nieve. La profundidad de ésta se lee directamente por los pilotos u observadores desde los aeroplanos que vuelan a poca altura, y esas lecturas se convierten a su equivalente de agua de la nieve. Se usa este método principalmente para las inspecciones preliminares de invierno, aunque no se depende mucho de él para la obtención de resultados más precisos que son necesarios para las predicciones finales de desbordamiento de primavera.

Las inspecciones de nieves no pretenden medir el volumen total del agua almacenada dentro de una cuenca, sino mi-



Las medidas de nieve muy profunda se hacen acoplando varias secciones del tubo liviano calibrado en divisiones de media pulgada a todo lo largo en su exterior, de manera que pueda leerse la profundidad de la nieve después de que el tubo de muestreo ha llegado hasta la tierra que se encuentra debajo de ella.

den solamente el contenido de agua de la nieve a lo largo de las rutas de nieve establecidas. La información obtenida de unas cuantas rutas de nieve en una gran cuenca de desagüe proporciona un índice de la acumulación de aguanieve en en toda la vertiente hidráulica. Las rutas de nieve a grandes alturas reflejan mejor la precipitación acumulada en invierno que las rutas de poca altura, ya que en invierno ocurre muy poca fusión a grandes alturas; pero las rutas de nieve a alturas intermedias o bajas se utilizan para confirmar la presencia o ausencia de nieve a esos niveles y obtener factores de corrección para los datos que se

obtienen de las inspecciones de nieve a grandes alturas. A veces las rutas de nieve de poca altura se utilizan también como indicadoras de un riesgo potencial de inundaciones provocadas por la fusión de las nieves.

LAS PREDICCIONES de suministros de agua derivadas de las inspecciones de nieves se basan en el hecho de que las mediciones del agua acumulada en la nieve de las montañas en unas cuantas localidades en los orígenes de los arroyos, se relacionan directamente con el flujo de los mismos en esa vertiente hidráulica.

La predicción de la tabla que se da al final de este capítulo es para un río alimentado con nieve y lluvias, la rama norte del río Rogue, arriba de Prospect, Oregon. Para predecir el desbordamiento estacional de esa vertiente, una vez que se conoce el contenido de agua del manto de nieve, se localiza el contenido de agua obtenido por medio de la inspección de nieve en la escala vertical de contenido de agua de la gráfica. De este punto se proyecta una línea horizontal hasta la curva de desbordamiento del manto de nieve, y de allí se baja a la escala de desbordamiento, lo que hace posible la lectura directa de predicciones en la escala de desbordamiento.

Puede ser necesario ajustar la cifra de desbordamiento para compensar otros datos variables de las áreas de nieve, tales como el estado de humedad de la tierra en la vertiente.

El agua se almacena en las montañas de dos maneras principales: La primera y más obvia consiste en la enorme cantidad de agua almacenada en los mantos de nieve. Se encuentra también un almacenamiento considerable, aunque de menos importancia, bajo la superficie de la tierra, ya sea en mantos o dentro de las cavernas o intersticios de las formaciones que existen en ellas.

Las vertientes difieren grandemente a este respecto. Algunas porciones de la Sierra Nevada granítica de California tienen un manto de tierra poco profundo, y el material originario que se encuentra debajo de él carece de huecos, por lo que hay relativamente poco almacenamiento de agua, a excepción del de los mantos de nieve. En las formaciones de lava en algunas partes de Oregon y Washington, se almacena una inmensa cantidad de agua bajo la superficie de la tierra, y a menudo ese almacenamiento subsuperficial afecta más tarde el flujo de los arroyos. La relación entre los mantos de nieve y el desbordamiento en una estación cualquiera queda influenciada por el estado de la humedad de la tierra en las vertientes en la época de fusión de las nieves en primavera. La nieve que cubre tierras secas es menos eficaz para producir flujos de arroyos que la misma cantidad de nieve en tierra húmeda.

El agua almacenada en la tierra en una vertiente hidráulica no contribuye por sí misma al flujo de los arroyos, porque el agua en ese estado sólo se remueve por evaporación o por la transpiración de las plantas. Sin embargo, una vez que las tierras de una vertiente quedan saturadas de agua hasta su capacidad de campo, toda agua adicional que se añada a la superficie irá a parar al agua del suelo para volver a aparecer más tarde en el flujo de los arroyos o correrá directamente sobre la superficie de la tierra por medio de canales colectores para contribuir inmediatamente al desbordamiento superficial, así que la capacidad de almacenamiento de agua de las tierras de las vertientes tiene importancia para determinar qué porcentaje del manto anual de nieve será necesario para "saturar" una tierra antes de que puedan producirse los volúmenes de agua suficientes para conservar el flujo de los arroyos.

¿Qué porcentaje del manto de nieve estacional se necesita para restaurar las deficiencias de humedad de las tierras de las vertientes a su nivel normal en distintas vertientes hidráulicas y en años diferentes?

Es necesario obtener una respuesta precisa a esta pregunta, a fin de poder hacer una predicción de desbordamiento adecuada. Para buscar esa respuesta, el Departamento de Agricultura ha instalado unidades de electrodos Colman de lana de vidrio a diferentes profundidades en las tierras de las vertientes, y se están observando unas cincuenta de esas instalaciones-piloto en vertientes hidráulicas de tipos muy diferentes, a fin de preci-

sar si es posible obtener respuestas adecuadas con este equipo y procedimientos. Mientras tanto, las predicciones dependen de los índices indirectos del factor de saturación de la tierra, tales como las cifras básicas de flujo de los ríos durante el otoño o los valores de precipitación registrados en el otoño en estaciones de aforo localizadas principalmente en las colinas o valles.

Un problema adicional en la predicción del desbordamiento estacional es el de las variaciones climatológicas de los promedios durante la estación de desbordamiento. El clima en primavera, ya sea frío o caliente, húmedo o seco, afecta la rapidez y volumen de fusión de las nieves y, por lo tanto, la exactitud de las predicciones. No es posible todavía predecir esas variaciones climatológicas que ocurren con una anticipación de 30 a 90 días, aunque se han hecho algunos progresos en la predicción del clima a largo plazo. Los observadores de las inpecciones de nieve en la cuenca superior del río Columbia han estado empleando los pronósticos probables de 30 días de la Oficina Climatológica para calificar sus predicciones de desbordamiento.

LAS PREDICCIONES de desbordamiento disponibles para consideración y uso de los encargados y usuarios de agua de los ríos del Oeste, son de cuatro tipos diferentes:

1º Predicciones de volumen del desbordamiento anual, que se basan principalmente en el análisis de los registros de lluvias ocurridas en su mayoría a menores alturas y que se expiden en publicaciones mensuales de la Oficina Climatológica desde el 1º de enero al 1º de mayo.

2º Predicciones del volumen del desbordamiento estacional, que para los Estados del Oeste se basan principalmente en inspecciones de nieves y parcialmente en datos climatológicos relacionados. Las predicciones de California se presentan en forma de informes mensuales de las inspecciones de nieve desde enero hasta mayo, expedidos por la división de Recursos Hidráulicos del Estado de California, agencia responsable de las inspecciones de nieves en ese Estado. Las predicciones de la Columbia Británica se incluyen en boletines semejantes de esa provincia, expedidos mensualmente por la Sucursal de Derechos de Agua del Departamento de Tierras y Bosques, agencia responsable de las inspecciones de nieves en la Columbia Británica.

Las predicciones para otras cuencas fluviales del Oeste se incluyen en los numerosos boletines cooperativos estatales y federales de inspecciones de nieves, expedidos mensualmente por el Departamento de Agricultura en cooperación con agencias estatales y particulares de Arizona, Colorado, Idaho, Montana, Nevada, New Mexico, Oregon, Utah, Washington y Wyoming. Las predicciones de inspecciones de nieve federales-estatales-particulares cooperativas para el Oeste en su totalidad, comprendieron en 1954 predicciones para 313 estaciones fluviales de aforo.

Las predicciones de volumen comprenden ordinariamente de abril a septiembre, pero algunas se hacen de abril a julio o abril a agosto, y otras de julio a septiembre, dependiendo del periodo crítico, de mayor necesidad del flujo estacional.

3º Predicciones de fechas aproximadas de disminución del flujo de los arroyos a un determinado nivel. Esas predicciones son útiles para calcular los suministros de agua que quedarán a disposición de los usuarios cuyos derechos de agua tienen prioridades más bajas. La investigación de las predicciones de la distribución diaria real del total de ese volumen parece ofrecer ciertas promesas para ciertas actividades comerciales sumamente complejas, en las cuales los suministros de agua son críticos.

4º Predicciones de potenciales máximos de flujo. Estas predicciones son útiles en la planeación anticipada para el control de los máximos de inundación que pueden ofrecer posibles peligros.

LA MAYOR EXACTITUD de las predicciones basadas en las inspecciones de nieves se nota en aquellas vertientes en las que la mayor parte del desbordamiento estacional se deriva de la fusión de las nieves, y sólo una pequeña parte de él se debe directamente a las lluvias durante el periodo de desbordamiento estacional. Por ejemplo, en el área costera de drenaje del norte del Pacífico, la exactitud anual

varía entre 80 y 90%, con un promedio aproximado de 86% en años recientes.

A menudo se producen contribuciones considerables al flujo de los arroyos en la cuenca alta del Missouri por las lluvias que ocurren en las vertientes durante abril a mayo, después de que se han expedido las predicciones principales el 1º de abril. La exactitud promedia de las predicciones en esa cuenca es de 80%. En la cuenca del río Columbia, donde una parte proporcionalmente menor del flujo estacional se debe a las lluvias en ese mismo periodo, la exactitud promedia ha sido de 84%.

Es muy difícil hacer predicciones absolutamente precisas en las cuencas de los ríos Arkansas y Río Grande, debido principalmente a que las variaciones de los promedios de precipitación y temperatura durante los periodos de desbordamiento son considerables.

En muchos arroyos individuales del Oeste, las predicciones muestran un alto grado de exactitud. En el arroyo Squaw, uno de los pequeños arroyos utilizados para riego de granjas cerca de Bend, Oregon, la exactitud mínima durante 12 años de predicciones fue de 88%, y la máxima de 100%, con un promedio de 94%.

Ordinariamente, mientras más pequeño es el volumen del flujo estacional de un arroyo, es mayor la posibilidad de error en las predicciones, porque una sola fuerte e inesperada tormenta de verano puede duplicar con facilidad la cifra de desbordamiento calculada para toda la estación de riego.

Creo que las predicciones estacionales basadas en las inspecciones de nieve serán cada vez más y más precisas, a medida que los registros históricos aumenten de extensión y que den resultados nuestras investigaciones para lograr mejores técnicas de predicción. No es probable, sin embargo, que pueda obtenerse una exactitud mayor de 88% para todo el Oeste antes de que contemos con predicciones de clima a largo plazo que sean absolutamente precisas.

LAS NECESIDADES de agua de las cosechas de riego pueden determinarse con toda precisión para un tipo de tierra dada y en áreas específicas. En caso de que se predijera un suministro estacional de agua demasiado pequeño para cubrir las necesidades de la superficie cultivada normal, los agricultores podrían escoger entre una producción más baja con costos unitarios más elevados en la superficie ordinaria, o de preferencia sembrar solamente la superficie para la que hubiera agua suficiente. Un planeamiento de esta naturaleza ahorraría tiempo, semilla, cosechas y dinero. Cuando se prevén las grandes escaseces de agua con la anticipación suficiente, hay cierta oportunidad para el desarrollo de recursos adicionales, que generalmente se obtienen del agua del suelo.

SE TUVO UN EJEMPLO de la aplicación de la información obtenida de las inspecciones de nieves en 1934, año de una crítica escasez de agua. George D. Clyde, que anteriormente fue empleado del Departamento de Agricultura y más tarde fue director de la Junta Hidráulica y de Energía de Utah, escribió sobre ello lo siguiente:

"Por medio de las inspecciones de nieves de mediados de invierno, se supo desde febrero que Utah se enfrentaba a una grave sequía. Había una acumulación extremadamente ligera de nieve en las altas vertientes y la tierra debajo de ella estaba seca, quedando las vertientes inferiores totalmente desprovistas de nieve y habiendo ocurrido sólo ligeras precipitaciones en los valles. Estas condiciones de sequía continuaron sin cambio alguno hasta el 1º de abril, cuando las inspecciones de nieves indicaron que Utah estaba amenazado de la peor sequía de su historia. En aquel entonces el suministro potencial de agua no excedía del 35% de lo normal, habiéndose hecho inmediatamente del conocimiento del Gobernador estas condiciones, quien convocó la primera conferencia de sequía en la historia, la que se llevó a cabo antes de que dicha sequía ocurriera. En esa conferencia se resolvió seguir dos líneas de acción: Primera, poner inmediatamente en vigor un programa de conservación de agua, y segunda, iniciar inmediatamente el desarrollo de suministros adicionales de agua, a fin de que pudieran quedar disponibles para cuando los necesitaran las cosechas.

Tan pronto como los usuarios del agua se convencieron de que existía una verdadera escasez de la misma, comenzaron a planear y a llevar a cabo un programa para combatir la sequía, sin esperar a que ésta se iniciara para principiar a actuar.

"Como resultado de todo ello, hicieron que se madurara la mayoría de las cosechas sembradas; conservaron sus plantas de huerto y perennes; sacaron su ganado de las praderas y fuera del Estado antes de que pereciera, y desarrollaron suministros adicionales de agua para riego y usos culinarios antes de que se secaran las fuentes ordinarias o que disminuyeran tanto que fueras incapaces de cubrir las demandas mínimas.

"El programa de desarrollo de agua permitió que el Estado obtuviera, aproximadamente, 400,000 pies-acre de agua, para evitar la pérdida de las cosechas. Los cálculos basados en las apreciaciones hechas durante la estación de 1934 indican que el ahorro obtenido solamente en las cosechas fue mayor de $ 5 millones en Utah.

"Las predicciones de suministros de agua permitieron que las municipalidades iniciaran con toda anticipación un programa de conservación y desarrollo adicional de agua, que en la mayoría de los casos les permitió contar con el agua suficiente para cubrir sus necesidades durante la sequía y que hizo posible que las empresas productoras de energía suministraran fuerza adicional de vapor con anticipación a sus necesidades. El conocimiento anticipado permitió que Salt Lake City desarrollara un suministro adicional de agua de 40 a 50 pies por segundo del agua del suelo. Estos últimos beneficios no pueden evaluarse en dólares y centavos, pero fueron de gran valor para evitar el sufrimiento del hombre y las pérdidas económicas. La experiencia de Utah en 1934 se duplicó ese mismo año en muchos otros de los estados del Oeste."

EN LOS AÑOS de abundantes nevadas, las predicciones pueden dar énfasis a la abundancia de agua que sea de esperarse, en vez de cualquier posible escasez. Pueden sembrarse cosechas que necesiten grandes cantidades de agua o puede aumentarse la superficie productora. Como resultado adicional pueden usarse muchos depósitos de almacenamiento de agua como estructuras para el control de inundaciones, a fin de reglamentar el flujo de los arroyos para disminuir las crecientes, asegurando, sin embargo, un máximo contenido seguro para emplearse más tarde en riegos.

En 1950, después de que los informes de inspección de nieves comprobaron la existencia de mantos de nieve sumamente abundantes en los tributarios del río Columbia, las medidas tomadas por las agencias federales y particulares a lo largo del mismo dieron como resultado el siguiente informe, que apareció en el número de octubre de 1950 de "La Era de la Recuperación":

"Trece depósitos de recuperación ahorraron $5.600,000 en daños de inundaciones durante el máximo de inundaciones del 18 de junio al 15 de julio del río Columbia y sus tributarios. Este cálculo de los daños potenciales que se evitaron mediante el control del agua de las inundaciones en los depósitos de recuperación, no incluye los daños evitados con las represas, de los cuales no había cifras en aquel entonces."

Las inspecciones de nieves están demostrando su valor en el control de inundaciones y en los distritos de represas, así como para ciertas plantas industriales en los arroyos en donde pueden ocurrir grandes crecientes debido a la fusión de las nieves, ya que las advertencias hechas con anticipación permiten que se tomen medidas para evitar la pérdida de las cosechas.

Los datos de las inspecciones de nieves suministraron la base para la predicción de una posible inundación que habría afectado la localidad de Bonners Ferry, en Idaho. La predicción se hizo el 9 de abril de 1954, y una segunda predicción, el 10 de mayo del mismo año, mencionando concretamente que podría esperarse una creciente del río de 35.5 pies en Bonners Ferry, durante la creciente de fusión de primavera en el río Kootenai. Esas advertencias hicieron que se enviaran tropas federales y equipo pesado a Bonners Ferry. El pueblo se evacuó en gran parte y se reforzaron los diques. El

río alcanzó un máximo de 35.55 el 21 de mayo de 1954, habiéndose inundado sólo 6,000 acres de buenas tierras como resultado de fallas en los diques, salvándose el pueblo.

R. A. WORK *fue nombrado jefe de la Sección de Predicciones de Inspecciones de Nieves y Suministros de Agua del Servicio de Conservación de Tierras en 1953, y quedó a cargo de la predicción de desbordamientos desde que se inició el programa de inspecciones de nieves del Departamento en 1935.*

La niebla, la neblina, el rocío y otros orígenes del agua

F. W. Went

LOS ORÍGENES principales del agua para las cosechas en la mayoría de las áreas agrícolas son las lluvias o los riegos. En muchas partes del mundo, sin embargo, ni las lluvias ni el agua del suelo son suficientes para asegurar el desarrollo de la vegetación que ocurre naturalmente. En esos sitios tenemos que buscar otros orígenes de agua, tales como la niebla, neblina y rocío y su posible contribución al crecimiento de las plantas. En muchos días y en muchas localidades las plantas quedan cubiertas de rocío en las primeras horas de la mañana. Como el rocío desaparece poco después de que sale el sol, a menudo la gente lo pasa por alto como posible origen de agua, la que consideran más necesaria a medio día. El problema, sin embargo, no consiste en que las gotitas de agua permanezcan en las hojas durante largo tiempo, sino en saber si esa agua puede contribuir en alguna forma al crecimiento de las plantas. En otras palabras, ¿llega a la tierra agua suficiente del rocío o se absorbe una cantidad suficiente de ella por la planta misma para que haya una mejoría en todo el suministro de agua?

Este asunto ha sido investigado por S. Duvdevani, quien comparó dos parcelas de campo con plantas que habían sido tratadas en forma idéntica, con la sola excepción de la posibilidad de formación de rocío por las noches. Por medio de un pabellón que colocó sobre una de las parcelas, entre la puesta y la salida del sol, evitó la formación de rocío en ella, sin interferir con la temperatura o humedad del aire sobre las plantas. Efectuó estos experimentos en la llanura costera de Israel, en donde el rocío ocurre frecuentemente y es muy abundante en ocasiones. Los experimentos demostraron que la mayoría de las plantas, tales como la calabaza tierna y el maíz, crecían casi el doble cuando recibían el rocío durante la noche, y, por lo tanto, parece probable que en una región semiárida, el rocío sea de gran importancia para el crecimiento de las plantas. Hay tres posibles razones para ello:

En primer lugar, el agua del rocío podría escurrir de las hojas y juntarse en el suelo al gotear. Sin embargo, la cantidad de rocío es demasiado pequeña para que pueda mojar más de unos cuantos milímetros de tierra. En segundo lugar, es posible que el agua del rocío se absorba por la superficie de las hojas en donde se condensa y que se utilice así directamente por la planta, habiéndose encontrado que así ocurre en efecto, y que especialmente las hojas tiernas pueden absorber el rocío tan rápidamente como se forma. Se puede observar a menudo que después de una noche de abundante rocío las hojas tiernas de los arbustos y hierbas están casi secas, y que las hojas viejas quedan cubiertas por el rocío. El agua que se absorbe en esa forma puede moverse a otras partes de la planta y eventualmente puede ser secretada a la tierra por las raíces, quedando de nuevo disponible al día siguiente. De hecho se demostró que la tierra queda más húmeda alrededor de los sistemas de raíces de plantas que quedan expuestas al rocío que alrededor de las raíces de plantas que no lo reciben, a pesar de que las plantas que quedan cubiertas de rocío son más grandes y deben absorber mayor cantidad de agua de la tierra.

En tercer lugar, la saturación de agua de una planta es esencial para su crecimiento, y como éste ocurre en la mayoría de las plantas durante la noche, cualquier suministro de agua será más efi-

caz por las noches. Estas observaciones, por lo tanto, hacen muy probable la creencia de que el rocío puede contribuir al mejor desarrollo de las plantas, por lo menos en las regiones semiáridas.

Los experimentos efectuados con el pino amarillo por E. C. Stone y H. A. Fowells, han demostrado que cuando se cultivan pinos amarillos en tierra muy seca que es incapaz de suministrar agua a plantas tales como el girasol, sobreviven, sin embargo, cierto número limitado de semanas (generalmente 3), si se rocían las plantas todas las noches con una pulverización fina que se asemeja al rocío, pudiendo sobrevivir así hasta 7 semanas sin ningún suministro adicional de agua a través de sus raíces. Esta es otra indicación de la posible importancia del rocío en la vida de las plantas.

Las observaciones de campo tienden también a indicar que debe haber otro origen de agua para las plantas de las regiones semiáridas cuando las lluvias son insuficientes para su crecimiento normal. Pueden citarse como ejemplo el crecimiento de cierto número de plantas anuales durante la estación seca en el sur de California. Algunas plantas, entre ellas el trigo negro silvestre *(Eriogonum fasciculatum)*, algunas gilias y *Stephanomerias*, pueden continuar creciendo durante muchos meses después de haber recibido la última lluvia.

Si contaran con un extenso sistema de raíces, podrían ser capaces de extraer agua suficiente de la tierra seca, pero esas plantas y algunas otras tienen solamente sistemas restringidos de raíces y muy pocas raicillas activas, y es seguro que agoten en poco tiempo las escasas cantidades de humedad con las que queden en contacto. Si estas plantas se conservan verdes y aún siguen creciendo, quiere decir que debe haber otro origen de agua que la que pueda quedar almacenada en la tierra alrededor de sus pequeños sistemas de raíces, y como sus necesidades de agua no pueden satisfacerse desde abajo, esa agua debe venir en forma de condensación atmosférica.

¿Es el rocío un fenómeno suficientemente frecuente y es de intensidad suficiente para explicar su aparente importancia en el crecimiento de las plantas, como lo demuestran los ejemplos que he mencionado?

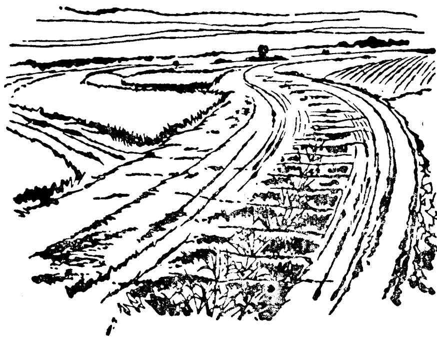
Para tener una respuesta a esta pregunta muchos investigadores han ideado métodos para medir el rocío bajo condiciones naturales y han utilizado varios tipos de medidas. La que se usa y acepta más extensamente es la del doctor Duvdevani, que consiste en un bloque de madera con una superficie normalizada y pintada que se expone por las noches al rocío, y en la que la ocurrencia y cantidad de rocío puede leerse por las mañanas de acuerdo con el patrón que forman las gotitas de rocío que la cubren. Mientras más abundante es el rocío se juntan mayor cantidad de gotitas, pudiendo normalizarse las observaciones comparando esos patrones de rocío con fotografías anteriores. Por medio de esas medidas, el doctor Duvdevani estudió la distribución de rocío en Israel y encontró cuatro interesantes relaciones:

Primera. La cantidad de rocío es mayor en los veranos secos que en los inviernos húmedos.

Segunda. Aun en el seco y caliente valle del Jordán, el rocío es un fenómeno común y ocurre en casi la mitad de las noches, siendo aún más frecuente en el Desierto del Sur (Negev).

Tercera. Hay considerables diferencias en los depósitos de rocío, de acuerdo con la topografía de la tierra.

Cuarta. Los depósitos de rocío en verano aumentan con la distancia del suelo; pero en invierno ocurre una gradiente contraria de rocío, prueba de que el agua depositada en esa forma no se produjo en la tierra sino que tiene origen atmosférico. La cantidad total de precipitación



de rocío en Israel llegó aproximadamente a una pulgada anual.

Otros investigadores han encontrado cifras semejantes en otras partes del mundo y, por lo tanto, generalmente están de acuerdo en que el rocío no puede causar más de 1.5 pulgadas de precipitación. Esa cantidad indudablemente es demasiado pequeña para explicar el considerable aumento de crecimiento que los observadores han atribuido al rocío.

En vez de apreciar los depósitos de rocío por medio de medidas, podemos también calcular qué cantidad de rocío puede producirse teóricamente. El rocío se produce cuando las hojas y otras superficies se enfrían a una temperatura inferior al punto de rocío del aire, y ese enfriamiento se lleva a cabo por la radiación de calor a la atmósfera.

El sol radia una gran cantidad de calor durante el día. Esa radiación significa, aproximadamente, 1.2 calorías por centímetro cuadrado por minuto, y se convierte en parte en ondas largas y en parte en calor de evaporación.

Alguna parte de esa radiación calienta la tierra. Como en promedio la tierra no se vuelve más caliente, toda la radiación absorbida por el suelo tiene que volverse a radiar por éste durante la noche en forma de ondas largas de radiación de calor. Esa radiación se absorbe en parte por el vapor de agua en la atmósfera, y, por lo tanto, mientras más seca está la atmósfera, es mayor la cantidad de radiación de calor hacia afuera y más fuerte el enfriamiento superficial. En noches claras estas radiación llega a 0.16 calorías por centímetro cuadrado por minuto, a una humedad relativa de 100%, 0.20 a 40% y 0.25 a 15%. Como las hojas y otras superficies se enfrían al perder calor por medio de la radiación, pueden llegar finalmente al punto de rocío del aire, y tan pronto como esto sucede se deposita el rocío y no ocurre ninguna baja posterior en la temperatura de las hojas.

PODEMOS CALCULAR la cantidad de rocío que puede depositarse basándonos en la cantidad de intercambio de calor. Se necesitan, aproximadamente, 500 calorías a una humedad relativa de 40% para que un volumen de aire se enfríe en forma suficiente para llegar al punto de rocío y depositar un gramo de agua, que necesitó también, aproximadamente, 570 calorías de calor de condensación. Por lo tanto, aproximadamente la mitad de la radiación, ó 0.1 de caloría por centímetro cuadrado por minuto, queda disponible durante las noches claras para depositarse en forma de rocío, lo que en toda una noche equivale a un milímetro de rocío. Durante un año entero con 365 noches sin nubes, equivale a 15 pulgadas de lluvia. Esa cantidad es casi independiente de la humedad relativa del aire, porque en regiones secas la radiación es mayor pero la cantidad de rocío por caloría depositado es menor, mientras que en la mayoría de los climas la radiación es menor pero es más eficaz para producir el rocío.

Esas 15 pulgadas de condensación potencial del aire contrastan abiertamente con las 1.5 pulgadas apreciadas con los medidores de rocío. Trataremos de encontrar las cantidades reales de rocío que se depositan en un manto natural de vegetación, lo que se ha hecho de varios modos. En primer lugar, tenemos una serie de mediciones obtenidas por C. W. Thornthwaite y Benjamin Holzman, que midieron la gradiente del vapor de agua de la tierra hacia el aire. Tomando en consideración la proporción de movimiento de aire, pudieron calcular cuánto vapor de agua se perdía o se condensaba basándose en esa gradiente del vapor de agua, y calcularon que en la superficie de una pradera se condensó un total de 1.81 pulgadas durante un periodo de 10 meses en 1939 en Arlington, Virginia. Durante ese tiempo se recibió un total de 26 pulgadas en forma de lluvia o nieve, lo que indicaría que en esa pradera se obtuvo en forma de rocío no más del 7% del suministro total de agua.

Puede medirse la condensación nocturna pesando trozos de tierra cubiertos con hierbas, maíz, trigo u otras plantas de cosecha.

Esto se hizo mediante experimentos con lisímetros en Coshocton, Ohio, por L. L. Harrold y F. R. Dreibelbis. Las lecturas tomadas cada hora indicaban el aumento o disminución de peso de los

bloques de tierra, debiéndose su aumento a la lluvia o al rocío; pero perdían peso debido a la transpiración y evaporación.

En una serie de mediciones que se extendieron durante un periodo de 6 años se encontró que durante el año se depositaba un promedio equivalente a 9.1 pulgadas de lluvia en forma de rocío, o sea que aproximadamente el 20% del total del suministro de agua se recibía en forma de rocío. Cuando comparamos estas cifras con las 15 pulgadas que podrían depositarse teóricamente durante un año de noches claras, encontramos que las observaciones actuales concuerdan muy de cerca con la condensación medida en los lisímetros. Es necesario que tengamos en cuenta que el rocío no puede formarse durante muchas noches nubladas.

Los cálculos y las observaciones reales aparentemente concuerdan en que el rocío constituye un origen potencialmente importante de agua para las plantas. Como puede significar aproximadamente 10 pulgadas de precipitación anuales, de acuerdo con los experimentos de campo como los efectuados por Duvdevani, deben efectuarse más trabajos para establecer las condiciones bajo las cuales puede depositarse la mayor cantidad de rocío.

Como mencioné antes, el rocío sólo puede depositarse cuando el cielo está despejado, no habiendo rocío en noches nubladas, por lo que las regiones semiáridas, por lo tanto, son más favorables para el depósito de rocío que los demás climas. No sólo las nubes impiden la radiación nocturna hacia la atmósfera, sino que el polvo y el vapor la impiden también. Las áreas polvorientas, tales como el Sahara y las regiones con mucho vapor como el área de Los Angeles, por lo tanto, tienen mucho menos rocío que las áreas con cielos nocturnos despejados, tales como las áreas desérticas del Sudoeste e Israel.

Pueden esperarse grandes diferencias en la formación de rocío, de acuerdo con la naturaleza del terreno y la velocidad de movimiento del aire sobre las superficies condensadoras. El aire completamente tranquilo sólo se condensará la cantidad de vapor de agua que pueda difundirse hacia las hojas, y esa cantidad es menor del 1% del máximo depósito de rocío posible. Por lo contrario, cuando los fuertes vientos hacen que el aire se mueva demasiado aprisa sobre las hojas, su temperatura no llegará al punto de rocío y, por lo tanto, no ocurrirá ningún depósito. Puede esperarse la mejor formación de rocío cuando queda en contacto con las hojas una cantidad intermedia de aire.

En lo futuro debemos investigar todas las condiciones que afectan los depósitos de rocío, a fin de que sea posible incrementar su eficacia y aumentar las cantidades que se condensan. Es muy probable, por ejemplo, que mediante un cuidadoso espaciamiento de los árboles y arbustos a través del escape natural de aire pueda alcanzarse la cantidad óptima de movimiento del mismo, a fin de que se forme la mayor cantidad posible de rocío.

El rocío parece ser especialmente eficaz en un gran número de áreas costeras en todo el mundo. En varios de esos lugares, que tienen lluvias muy escasas, los abundantes rocíos pueden sostener en apariencia las cosechas hasta su madurez, sin ninguna ayuda de los riegos.

Un ejemplo de esto es la costa sur de California. Inmediatamente adyacente al océano se encuentra una zona que tiene un ancho de media milla a unas cuantas millas, en la que pueden cultivarse tomates, pimientos, judías y otras legumbres durante el verano. Esas cosechas crecen bien sin necesidad de riegos, aunque no caen lluvias durante la estación de crecimiento de mayo a octubre. La tierra de esa región puede contener suficiente humedad para los primeros meses de crecimiento, pero ciertamente no la necesaria para los últimos meses. Si a pesar de ello, sin embargo, el crecimiento y la producción son buenos, esto significa que debe haber otros orígenes de humedad, y esos orígenes no pueden ser otros que el rocío y las nieblas costeras.

Las nieblas y neblinas son realmente nubes muy bajas en las que las gotitas de agua son tan pequeñas que no caen en las superficies horizontales y, por lo tanto, no se registran en un medidor de lluvia. En consecuencia, generalmente no se les da importancia alguna como fuen-

tes de agua, pero sin embargo, esas nieblas pueden ser de gran importancia para las plantas.

La vegetación de muchos lugares donde son frecuentes las nieblas difiere de la vegetación de las localidades cercanas en donde no ocurren nieblas. Uno de los mejores ejemplos de esto es la costa norte de California. Crecen allí principalmente las sequoias rojas en una faja angosta, pero no ocurren más al interior, lejos de la influencia de las nieblas marinas. En aquellos lugares donde hay más agua disponible, las sequoias rojas crecen muy bien fuera de la zona de nieblas, lo que indica que éstas tienen gran importancia en su economía hidráulica. En esa zona las nieblas ocurren casi diariamente, y cualquiera que haya penetrado a un bosque de sequoias durante las nieblas habrá notado que los árboles gotean, aunque en las zonas no selváticas cercanas no cae una sola gota de agua. Esto significa que las sequoias rojas pueden condensar las gotitas de niebla hasta formar gotas más grandes.

Puede observarse ese mismo goteo de los árboles en los bosques de pinos de las montañas o en los robles de las colinas de California durante las nieblas de otoño. En este último caso, puede verse que el goteo de esa agua de niebla es muy provechoso para la vegetación. La lluvia mojaría igualmente la tierra que se encuentra debajo y alrededor de los árboles y, por lo tanto, no sería responsable de la coloración verde de la hierba o de la extensa germinación de plantas silvestres bajo los árboles; pero durante las nieblas el agua gotea debajo de ellos y humedece eficazmente la tierra dentro del perímetro de sus copas. Si sólo fuera la sombra lo que hace que nazcan los retoños o lo que alienta el crecimiento de las hierbas, el área verde se extendería hacia el Norte más allá de los árboles, pero esto no ocurre nunca.

PREGUNTÉMONOS POR UN MOMENTO cómo pueden los árboles condensar la humedad de las nieblas. Una niebla consiste de gotitas de agua sumamente pequeñas (0.01-0.1 de milímetro), que se encuentran lo suficientemente alejadas unas de otras para que no se unan, que se encuentran suspendidas en aire saturado para que no se evaporen y que son lo suficientemente ligeras para que no caigan. Además, ordinariamente en una niebla hay el suficiente movimiento de aire para mover las gotitas que van a caer. Cuando la niebla se mueve a través de una superficie sólida, se desvía y las gotitas de agua fluyen con el aire alrededor de la superficie, evitando el contacto con ella. Si esa superficie es lo suficientemente pequeña o angosta, el aire apenas se desvía y la inercia de las gotitas de agua es suficiente para llevarlas contra la superficie y unirlas entonces a ella. Esto significa que las superficies pequeñas o angostas actúan como coladeras para las gotitas de niebla, y es un hecho interesante que el diámetro de las agujas de pino o de sequoia roja es tal que permite la condensación de las gotitas de niebla en forma muy eficaz en comparación con la proporción normal de movimiento de la niebla. Esto puede apreciarse mejor en el hielo o la escarcha que se forman cuando una niebla toca superficies en las que las gotitas condensadas se hielan inmediatamente al contacto, si la temperatura es menor del punto de congelación. En esas condiciones, una cinta de hielo se extiende a lo largo de los alambres de teléfono y otros en la dirección del movimiento del viento; pero vemos también que el hielo cubre todas las agujas de pino, mientras que las hojas grandes de los árboles de hojas anchas sólo tienen hielo a lo largo de sus orillas y no en sus superficies. Esto nos demuestra que la forma de aguja es más eficaz para condensar las gotitas de niebla.

Volvamos ahora a la eficacia de la niebla como origen de agua en la naturaleza. Las neblinas estancadas no pueden servir como fuentes de agua, porque la condensación ocurre solamente cuando el suficiente volumen de aire que contiene gotitas de niebla, pasa sobre la superficie condensadora.

Por lo tanto, la neblina del suelo que se produce debido al rápido enfriamiento nocturno del aire cercano a la tierra, no causa ninguna condensación de las partículas de neblina; pero las nieblas costeras que se deben al aire cargado de

humedad que asciende contra las sierras próximas a la costa o las nubes que se forman contra esas cadenas de montañas por el movimiento lateral del aire que lo fuerza contra sus laderas, son ideales para la condensación de la niebla.

En las regiones donde esas nieblas ocurren con cierta regularidad, se produce un crecimiento de árboles o arbustos mucho más exuberante que lo que harían esperar los registros reales de precipitación. A lo largo de la costa de California es sorprendente el crecimiento de las sequoias rojas en las vertientes occidentales; pero en las vertientes orientales, que tienen aproximadamente las mismas cantidades de lluvia, el crecimiento de esos árboles es menor. Esa diferencia indica hasta qué grado es eficaz la precipitación de agua de las nieblas.

En las áreas más secas del Oeste hay una serie de altas cordilleras montañosas en sitios que tienen una precipitación insuficiente para el crecimiento de árboles. En las montañas encontramos una línea arbolada más baja, debajo de la cual no crecen árboles. Si la línea arbolada se debiera a que se ha llegado al dintel del valor de precipitación en el que el crecimiento de árboles es apenas posible, sería de esperarse una línea arbolada desgarrada e irregular en la que los árboles se fueran aclarando gradualmente.

Sin embargo, a lo largo de las vertientes orientales de la Sierra Nevada, por ejemplo, se ve una aguda línea horizontal de demarcación, debajo de la cual no existen árboles y sobre la que se encuentra un bosque normal de pinos. La línea coincide con el nivel de formación de las nubes por los vientos del Este.

EN MUCHAS REGIONES áridas, tales como las áreas cubiertas de chaparrales en California, muchas de las plantas más características, tales como el chamizo *(Adenostoma fasciculatum)* o el trigo negro silvestre *(Erigonum fasciculatum)*, han desarrollado superficies de follaje muy pequeñas en forma de hojas semejantes a agujas. Ese follaje no es una adaptación para disminuir la transpiración, como se ha sugerido a menudo, sino que probablemente es muy eficaz para condensar el agua de las nieblas ocasionales.

En las regiones áridas que bordean una costa podemos encontrar los llamados desiertos de nieblas, áreas con escasa precipitación pero con frecuentes nieblas. Las regiones típicas de esas zonas son el Sudoeste de África y la costa de Perú. En ambas las montañas se elevan inmediatamente atrás de la costa y causan la formación de nieblas a medida que el aire se eleva contra ellas. También en ambas una corriente oceánica fría (las Corrientes de Benguela y de Humboldt) limita la cantidad total de humedad que se encuentre presente en el aire, lo que hace que la precipitación total sea, aproximadamente, de una pulgada anual. Las tierras bajas cercanas a la costa, en donde no ocurren nieblas, no tienen prácticamente vegetación alguna, pero contra lo que sería de esperarse, ocurre a los 1,000 pies una vegetación de arbustos en donde las nieblas quedan suspendidas durante la mayor parte del año, y una indicación del alto nivel de humedad durante la mayor parte del día es la riqueza de la vegetación epífita. Aun en los cactos como el *Trichocereus* crecen muchos líquenes y varias bromelias o tillandsias, que ordinariamente se encuentran en las selvas pluviales húmedas, y las ramas de los árboles quedan cubiertas de musgos y peperomias *(Caesalpinia* y *Zizyphus)*, que las hacen aparecer varias veces más gruesas de lo que son.

La importancia de la condensación real de gotitas de niebla en las áreas en que éstas son frecuentes, puede verse en varios lugares. Inmediatamente al norte de San Diego hay una pequeña área donde crecen los pinos Torrey. Los árboles quedan circunscritos a las partes superiores de las laderas que ven al océano, es decir, en donde la niebla queda en contacto más estrecho con la vegetación. En las partes bajas de las laderas y a unos cuantos cientos de pies tierra adentro, los pinos desaparecen. Por lo demás, es esa una área extremadamente seca, como lo indica la escasa vegetación de arbustos en todas partes, excepto en las lomas que bordean el océano. Puede observarse un fenómeno semejante a lo largo de la costa del Mediterráneo. Inmediatamente atrás

de Orán, en Argelia, se levanta una meseta que tiene, aproximadamente, 15 pulgadas anuales de lluvia, lo suficiente para que crezcan algunos pinos, pero no para el roble de acebo *(Quereus ilex)*. Sin embargo, estos robles se encuentran tan sólo a lo largo de una faja de diez pies de ancho que sigue el crestón de la meseta, que nuevamente es el lugar en donde la niebla choca con más frecuencia y en donde es más abundante el suministro de agua, debido a la condensación de las gotitas.

Puede tenerse una idea de la cantidad total del líquido que pueden precipitar esas nieblas empleando un medidor de lluvia sobre el que se coloca una rejilla de alambre o de ramas delgadas. Esos alambres o ramas condensarán las gotitas de niebla, que luego gotean dentro del medidor de lluvia. Ese dispositivo permitió descubrir que durante una tormenta excepcionalmente violenta, en la que las nubes pasaron sobre la Montaña de la Mesa en el Africa del Sur, sólo cayeron 0.2 de pulgada de precipitación en un medidor ordinario de lluvia, mientras que en otro medidor semejante, en el que se habían colocado ramas, se juntaron 6 pulgadas de precipitación. El investigar más a fondo esta condensación de niebla merece una mayor atención.

LA HUMEDAD RELATIVA del aire puede tener importancia en la conservación del agua de las plantas. Bajo idénticas condiciones, la pérdida de agua por transpiración será proporcional a la deficiencia de saturación del aire. A medida que aumenta esa deficiencia de saturación más allá de cierto punto, sin embargo, algunos fenómenos, tales como la sequía incipiente, impiden todo aumento ulterior en la transpiración. Las plantas que ya tienen una deficiencia de saturación sólo perderán su agua hacia la atmósfera si la deficiencia de saturación del aire es mayor que la de ellas. A una deficiencia de presión de difusión o fuerza de succión de 100 atmósferas, como la que puede encontrarse en regiones áridas, las plantas quedarán equilibradas con el aire que tenga una humedad relativa de 93%, es decir, que sólo perderán agua por transpiración cuando el aire esté más seco que a una humedad relativa de 93%, pero que absorberán vapor de agua del aire cuando éste tenga una humedad mayor de 93%. En muchos experimentos que hemos llevado a cabo, E. C. Stone, C. L. Young y yo, hemos encontrado que varios chaparrales pueden absorber agua del aire a una humedad relativa de 85% o mayor.

Por tanto, debemos considerar la posibilidad de que la absorción de vapor de agua pueda ser una fuente de agua para ciertas plantas. Encontré que esto es cierto en varias orquídeas tropicales que cuelgan de las ramas de los árboles de las selvas y que sólo obtienen agua en forma líquida durante las lluvias. Cuando la humedad relativa en esas selvas era de 95%, o mayor, las orquídeas absorbían vapor de agua y aumentaban de peso, y como la humedad relativa en el interior de esas selvas se mantiene arriba del 95% durante más de 12 horas diarias, el vapor de agua es un importante origen de ese líquido para las plantas.

F. W. WENT *es profesor de fisiología de plantas y está encargado del Laboratorio Earhart de Investigación de Plantas del Instituto Tecnológico de California. Después de graduarse en la Universidad de Utrecht, estuvo cinco años en Java en el Jardín Botánico de Buitenzorg.*

La conversión de aguas saladas

David S. Jenkins, R. J. McNiesh y Sidney Gottley

LA RECUPERACIÓN de agua de ciertas fuentes no aptas para su uso mediante la remoción de las sales disueltas en el agua salada, comienza a considerarse como un modo probable de suplementar nuestros suministros tradicionales de agua.

El procedimiento se conoce con el nombre de conversión, o sea la desmineralización de las aguas saladas o de mar. Una de sus fuentes es el agua relativamente estática e indispensable de nuestros océanos, que comprende la mayor parte del

agua de nuestro planeta. Su utilización complementaría las escasas existencias a lo largo de las áreas costeras. Otra de esas fuentes es el agua salobre que se encuentra hacia el interior, y gran parte de la cual se está volviendo cada vez más salada hasta hacer imposible su uso para ciertos fines sin efectos perjudiciales.

En cualquier caso deben removerse las sales que se conservan tenazmente en solución antes de que esa agua sea apropiada para usos agrícolas, industriales o domésticos.

Aunque la arena, sedimento y otras partículas extrañas pueden removerse sin dificultad por filtración, la sal no puede removerse tan fácilmente. El agua salada es un sistema relativamente sencillo de sales inorgánicas disueltas en el agua, y tiene ciertas propiedades físicas y químicas que determinan los diversos métodos por medio de los cuales pueden separarse esas sales del agua. Aunque no complicado, el sistema es relativamente estable, y debido a esa estabilidad la separación de las soluciones salinas requiere cantidades de energía relativamente grandes.

Los cálculos teóricos demuestran que se requieren por lo menos 2.8 kilovatio-horas (3.8 caballos-hora) de energía eléctrica para obtener 1,000 galones de agua pura del agua de mar. Por lo tanto, deben emplearse más de 900 kilovatio-horas (más de 1,200 caballos-hora) para obtener un pie-acre de agua dulce del agua de mar. Si la energía eléctrica cuesta un centavo por kilovatio-hora, el costo de esa separación teórica es de 2.8 centavos por cada 1,000 galones, o más de 9 dólares por cada pie-acre de agua dulce que se obtenga del agua de mar. Las cifras son independientes de la clase de proceso de separación que se emplee y sólo representan la energía necesaria para obtener agua dulce de una cantidad infinitamente grande de agua de mar. Esas cifras representan la absoluta perfección teórica, algo que ni el hombre ni sus máquinas pueden alcanzar. Es de esperarse que esos costos mínimos se multipliquen varias veces al llevarlos a la práctica, sin que se sepa cuántas veces se multipliquen y sin que tal vez se sepa nunca; pero la continua investigación debe producir una mejoría de los procedimientos con la consiguiente disminución de esos costos.

Los estudios llevados a cabo por el Departamento del Interior de los Estados Unidos de Norteamérica mediante un contrato con el doctor George W. Murphy y sus asociados de la Fundación de Investigación de la Universidad del Estado de New York, muestran el mínimo práctico de las proporciones de energía que pueden obtenerse en condiciones que no sean las ideales. Se encontró un mínimo aproximado de 12 kilovatios-hora por cada 1,000 galones para la destilación por compresión y los procesos de membrana eléctrica, lo que es aproximadamente 4 veces mayor que el mínimo absoluto obtenible bajo condiciones ideales. Naturalmente, es teóricamente posible que otros métodos que se están investigando actualmente, o que puedan desarrollarse en lo futuro, puedan funcionar con un mínimo práctico más bajo.

Ocurre entonces la pregunta de si debemos abandonar la posibilidad de obtener agua dulce del agua de mar a costos que la hagan atractiva para consumos generales, tales como los riegos. La respuesta, naturalmente, es negativa. Lo que es teóricamente posible, siempre constituirá un desafío al ingenio del hombre. Además, tenemos a nuestra disposición enormes fuentes de energía, tales como la luz solar, las diferencias térmicas entre las aguas superficiales y las subsuperficiales de los océanos, la energía del viento y la geotérmica, y cualquiera de ellas puede considerarse esencialmente como gratuita para el hombre si se la emplea en forma eficiente.

Además del costo de la energía, la inversión de capital y los costos de funcionamiento determinan la economía total de cualquier proceso. Esos tres factores deben incluirse, aunque muy frecuentemente se omite de los cálculos el costo de la inversión o se trata en forma imperfecta. No se han descubierto todavía procesos que permitan la extracción de agua dulce del agua de mar a un costo total que pueda competir con el de las demás fuentes de agua en el territorio continental de los Estados Unidos de Norteamérica; pero la continuada investiga-

ción y los trabajos de desarrollo en este campo nos están acercando más y más a su realización. De hecho, existen ya muchas instalaciones en todo el mundo mediante las cuales el agua de mar se convierte en agua dulce en cantidades considerables, lo que permite el productivo funcionamiento de ciertas industrias que probablemente no podrían existir sin esa conversión.

Se ha sugerido frecuentemente que las ventas de los productos subsidiarios obtenidos como resultado de los procesos de separación podría proporcionar utilidades que compensaran otros costos de producción de agua dulce en grandes cantidades. Aunque la conversión de agua salada en gran escala podría proporcionar un gran tonelaje de muchos elementos, el crédito obtenido de esos productos por unidad de agua procesada, sería probablemente insuficiente para hacer que los sistemas de conversión convencionales fueran económicamente adecuados para usos generales, tales como los riegos; pero la combinación del crédito resultante de esos productos con los nuevos procesos de desmineralización parece ser mucho más prometedora. Si pueden perfeccionarse algunos procesos que permitan extraer varios minerales a la vez, su valor en ciertas áreas de mercado será tal que disminuirá el costo del agua en la pequeña proporción necesaria para hacerlos económicamente costeables.

Se han analizado ciertas sugestiones de que podría emplearse la energía atómica en alguna forma para la desmineralización de las aguas saladas, y se ha llegado a las siguientes conclusiones, en cooperación con los representantes de la Comisión de Energía Atómica: 1ª No puede preverse actualmente el uso directo de la fisión nuclear en la separación de las sales del agua. 2ª Podría usarse el calor directo de las plantas de reactores en los diversos procesos de desmineralización. Sin embargo, ese calor tiene que ser menos costoso que otras formas del mismo, y parece haber ciertas posibilidades de que pueda usarse con ese fin.

Los descubrimientos futuros relacionados con el uso de la energía nuclear y el mejoramiento de los procesos de desmineralización podrán acelerar considerablemente el empleo de ese calor. La energía a bajo costo, más esos nuevos procesos de desmineralización, pueden proporcionar una respuesta.

Hay varios métodos de uso general para desmineralizar en gran escala las aguas altamente salinas. Tres de ellos aprovechan la evaporación de cierta parte del agua salada y la condensación del vapor resultante. Cada uno emplea algún medio de economizar el combustible que se quema para generar vapor. Esos procesos se llaman de evaporación de efecto múltiple, de evaporación rápida y de destilación de compresión de vapor.

El método de evaporación de efecto múltiple es el más comúnmente empleado a bordo de los buques para tratar el agua de mar, y es también el único que se ha empleado en las grandes instalaciones costeras permanentes. El vapor se genera en una caldera o evaporador que se calienta con cualquier combustible. El vapor que se produce en ese evaporador de primer efecto se condensa en los tubos de calentamiento de un evaporador adyacente o de segundo efecto que funciona a una presión ligeramente inferior, proporcionando así calor para evaporar más agua de mar. Empleando varios de esos evaporadores (hasta 6 ó 7) en serie, la cantidad de vapor que se desperdicia finalmente como agua de enfriamiento en el último condensador disminuye a medida que aumenta el número de etapas, y la economía de combustible resultante se obtiene en parte a expensas de costos de instalación más elevados.

Un segundo proceso emplea la evaporación rápida, en la cual el agua a determinada presión y temperatura se libera dentro de una cámara a una presión ligeramente menor, lo que hace que el líquido se convierta rápidamente en vapor, condensándose subsecuentemente. Se ha aplicado este principio a la producción de agua potable de mar en varias etapas a presiones inferiores a la atmosférica. Este proceso tiene las ventajas de disminuir los requerimientos de peso y espacio a bordo de los buques de las plantas de destilación de agua de mar y de que disminuye la formación de sarros en esas plantas. En comparación con los

evaporadores de tubos sumergidos, en los que el coeficiente de transferencia de calor es una función de la diferencia de temperaturas, este tipo de plantas no tiene pérdidas de coeficientes de transferencia de calor que puedan compararse con las diferencias de disminución de temperatura por etapa, ni tiene tampoco pérdidas por diferencias de temperatura debidas a la presión hidrostática. Por lo tanto, su número óptimo de etapas ordinariamente es mayor que el número óptimo de ellas en una planta de tubos sumergidos, y el consumo correspondiente de combustible es menor.

La destilación por compresión de vapor es el tercer método que se usa generalmente. Se emplearon unidades portátiles de este tipo por las fuerzas militares para suministrar agua purificada a las tropas de tierra. Ese equipo ha hecho también posibles ciertas explotaciones petrolíferas costeras en las que el agua dulce es prácticamente inexistente. En el proceso evaporatorio se aumenta la energía volviendo a comprimir el vapor producido en la unidad y condensándolo en la sección de calentamiento del evaporador mismo, produciendo así mayor cantidad de vapor. La parte principal de la energía requerida se emplea así para hacer funcionar el compresor, suministrándose relativamente poca energía adicional para generar vapor en el evaporador.

Otro proceso que se emplea actualmente tiene algunas ventajas en ciertas aplicaciones, pero es muy costoso para uso general en gran escala. Este proceso funciona según el principio de intercambio de iones y ordinariamente comprende resinas que sustituyen una clase de iones por otros en el agua. Las resinas pueden usarse repetidas vaces mediante un proceso de regeneración. Este tipo de proceso se adapta especialmente a la producción de agua dulce y se emplea más comúnmente para ese fin. Como los compuestos químicos tienen diversos grados de ionización y tamaño de iones, las diferentes resinas intercambiadoras de iones varían en sus funciones. Hay algunas que se adaptan especialmente para ciertos propósitos específicos y se están preparando y evaluando continuamente nuevos tipos de resinas para extender su posible uso en la desmineralización de aguas de composiciones diferentes. Los costos actuales de conversión del agua de mar en líquido potable por estos métodos, hacen prohibitivo su uso general en gran escala.

Los actuales costos mínimos para la obtención de agua dulce, ya sea de las aguas salobres o del agua de mar por los métodos convencionales ya descritos, exceden de 3 dólares por cada 1,000 galones. Se ha calculado que es posible una disminución aproximada de la mitad de ese costo si se aumenta y mejoran las instalaciones de comprensión de vapor, de evaporación de efectos múltiples o de evaporación rápida.

El costo definitivo calculado para el agua desmineralizada mediante los sistemas convencionales de evaporación y destilación es más de diez veces mayor a los costos más elevados que prevalecen actualmente para el agua de riego no distribuida en los Estados Unidos de Norteamérica, y es, aproximadamente, cuatro veces mayor que el costo de las aguas municipales en 400 ciudades norteamericanas. Probablemente sólo unas cuantas industrias pueden afrontar esos costos en sus suministros de agua. El que los consumidores domésticos puedan pagar esos precios equivale a preguntar si comprarían alimentos a precios cuatro veces mayores. Tendrán que hacerlo si es necesario, pero no lo harán si hay alguna forma de evitarlo.

Es evidente, por lo tanto, que los métodos e instalaciones empleados actualmente para remover la sal de las aguas saladas son demasiado costosos para que puedan beneficiar en forma general al consumo industrial, municipal y de riego. En muchos círculos, los esfuerzos llevados a cabo continúan mejorando el funcionamiento de los equipos ordinarios, especialmente los efectuados por el Departamento de la Defensa para usos militares. Sin embargo, en las utilizaciones de esta dependencia, la movilidad, sencillez de funcionamiento y absoluta necesidad son frecuentemente de mayor importancia que los costos de fabricación y funcionamiento. Aun el volver a diseñar en forma drástica el equipo usado actualmente en los procesos convencionales ofre-

ce muy pocas probabilidades de que ocurra una reducción suficiente en los costos de desmineralización del agua para que lleguen a interesar al público en general.

DEBIDO AL CONSTASTE incremento de las necesidades de agua dulce y al aumento en la salinidad de muchas aguas que ya se están usando en nuestro país, el Congreso autorizó al Gobierno Federal, en julio de 1952, para que participara en las investigaciones y descubrimientos en este campo durante un periodo inicial de 5 años, estipulando que el Departamento del Interior debe encontrar medios prácticos para la producción económica del agua de mar o de otras aguas salobres, de cantidades suficientes de agua dulce adecuadas para la agricultura, la industria, las municipalidades y otros consumos benéficos. (Ley 66, Sección 328,482 del Congreso de 1951 de los Estados Unidos de Norteamérica.)

Con esa autorización el Departamento del Interior, por medio del programa de conversión de aguas saladas, está haciendo esfuerzos para mejorar las muchas fuentes de agua salada superficiales y subterráneas y para convertir el agua del mar para fines útiles. Esto se hace llevando a cabo investigaciones y proyectos bajo contratos con organizaciones de fuera, mediante intercambio de informaciones y con la coordinación de las investigaciones públicas y privadas.

La discusión de esos esfuerzos de investigación en el presente artículo refleja el estado de cosas a principios de 1955. El programa de investigación científica que apoya el Departamento del Interior está continuamente coordinado con el Departamento de la Defensa y con la Fundación Científica Nacional.

Existe también una cooperación entre el Departamento del Interior y la Comisión de Energía Atómica, la Institución Smithsoniana, la Administración Federal de Defensa Civil, el Departamento de Agricultura, el Departamento de Estado, la Administración de Actividades Extranjeras y el Departamento de Comercio.

Los primeros estudios llevados a cabo bajo el programa de conversión de aguas saladas pusieron en claro que no era probable que ningún proceso llenara todos los requisitos para la desmineralización del agua. En realidad se necesitan varios procesos diferentes, cada uno de los cuales deberá dar un rendimiento óptimo bajo diferentes combinaciones de localización, calidad de las aguas saladas existentes y características y magnitud de las necesidades de agua. Las condiciones variables que podrían hacer que cierto procedimiento fuera más deseable que otro, son las siguientes:

La salinidad del agua original (agua de mar o agua salobre), la magnitud y clase de las necesidades industriales, la extensión y cantidad de las necesidades municipales, los requisitos de riego de las diversas tierras, los climas, la diponibilidad de otros suministros de agua que puedan combinarse total o parcialmente con aguas tratadas en todo o en parte, y muchos otros factores que varían de un lugar a otro.

Por todas estas razones, y como el costo de los actuales procesos de tratamiento excede considerablemente el costo máximo que se considera factible para muchos usos, deben considerarse todos los procesos y fuentes de energía que en cualquier forma imaginable puedan producir un procedimiento adecuado. Se han eliminado los procesos que son abiertamente impracticables, y otros se están investigando y desarrollando. Además de los grandes esfuerzos que se están llevando a cabo para mejorar las características de funcionamiento del equipo convencional actualmente en uso, se están estudiando muchos conceptos que son relativamente nuevos.

Se está probando actualmente uno de esos procedimientos con un fin principal, el de mejorar las aguas salobres para poder usarlas en riegos, a fin de determinar la duración de los componentes y otras características de funcionamiento, y para obtener datos más precisos sobre el costo total de tratamiento de aguas en gran escala por este medio. El Departamento del Interior ha estado investigando las variaciones en el proceso que emplea un desmineralizador de membrana de transferencia de iones por medio de un contrato con Ionics Incorporated de Cambridge, Massachusetts. Este proceso emplea una combinación de

plásticos, membranas de permeabilidad selectiva y electrólisis para remover la sal del agua salada. Las pruebas efectuadas hasta ahora indican que como el consumo de energía aumenta rápidamente con la cantidad de sal removida, esa unidad puede ser de gran valor para convertir aguas salobres en vez de agua de mar, ya que las primeras contienen sólo una fracción de las sales de la segunda.

Por medio de un contrato con la Badger Manufacturing Company, el Departamento del Interior está investigando un procedimiento concebido por el doctor K. C. D. Hickman, que es una variante de la destilación por compresión de vapor. Este nuevo proceso implica el acondicionamiento mecánico del agua para hacer que hierva rápidamente venciendo la resistencia de una "película" posiblemente obstructora en la superficie de ella. Por este medio los coeficientes de transferencia de calor se aumentan de 5 a 10 veces sobre los que se obtienen actualmente con equipo convencional. El costo de la destilación de agua con este método, debe ser, por lo tanto, de sólo una fracción de los costos actuales con los métodos convencionales. Las pruebas iniciales de una unidad de laboratorio han confirmado hasta ahora lo que en teoría se esperaba del aparato. Aunque las unidades que incorporan este principio no están aún disponibles comercialmente, sin duda se fabricarán muy pronto, a medida que las pruebas ulteriores demuestren sus posibilidades.

La utilización de fenómenos a presiones y temperaturas críticas constituye otro posible procedimiento de separación. A presiones y temperaturas muy altas, de 3,000 libras por pulgada cuadrada y de 700° F., el agua alcanza una condición crítica entre la que no hay diferencia entre el estado líquido y el gaseoso. Las soluciones de sal difieren del agua pura, en que el agua salada retiene tanto la fase líquida como la de vapor más allá del punto crítico del agua pura. La elevada concentración de sal permanece en la fase líquida, y a temperaturas y presiones más elevadas una proporción cada vez mayor de sal se junta en la fase líquida. Estas peculiaridades del agua son esenciales para este proceso de desmineralización y permiten la recuperación del calor del proceso para volverse a utilizar por medio de sencillos cambiadores de calor, ya que si se mantiene la presión sobre el punto crítico, sólo hay que añadir muy poco calor latente de evaporación, o tal vez ninguno, durante el ciclo.

Bajo un contrato celebrado entre el Departamento del Interior y la Nuclear Development Associates Incorporated, se están estudiando las condiciones adecuadas para la extracción de agua dulce del agua de mar en ese estado supercrítico. Los trabajos efectuados hasta ahora indican que la extracción de agua dulce del agua de mar por este método, es técnicamente posible, aunque hay ciertas dificultades técnicas, pero los medios de solucionarlas no se consideran imposibles.

A otro proceso más en esta categoría se le llama "método de diferencias de baja temperatura", un procedimiento en el que se obtiene la destilación no por calentamiento, sino por enfriamiento. Esto puede conseguirse mediante diferencias de temperatura existentes, tales como las que ocurren entre el agua de enfriamiento de desecho en las actuales plantas industriales y los océanos y ríos en los que se descargan esas aguas. Otras de esas diferencias son las que existen entre el agua caliente superficial de los océanos y el agua más fría de las grandes profundidades. Los trabajos más recientes en un proyecto que utiliza las diferencia de temperatura en el océano se han llevado a cabo, bajo los auspicios de Francia, con una posible planta en Abidjan, Africa Occidental Francesa. Se están efectuando trabajos semejantes en la Universidad de California en donde se espera obtener una valiosa información, que añadida a la resultante del experimento francés indicará algunos de los problemas técnicos que puedan existir en las grandes plantas que serán necesarias.

Otros dos procesos de naturaleza relacionada comprenden el uso de vapor supercalentado o la combustión de combustibles gaseosos naturales bajo el agua. En ambos se necesitan investigaciones y trabajos de exploración considerables antes de que puedan demostrarse en forma práctica.

El empleo de la energía solar para

evaporación implica también la vaporización en una u otra forma. La posible aplicación de la energía solar, especialmente en regiones áridas en donde las intensidades solares son muy altas, despierta ordinariamente un gran interés en el público, debido principalmente a que se considera que la energía consumida es gratuita e inagotable. La consideración de otros factores de costo hace que la economía de este sistema sea menos atractiva de lo que parecería a primera vista. Aunque pueda ser gratuita la energía, la inversión de capital es considerable. Los proyectos concebidos actualmente, sin embargo, indican que ese sistema podría competir ventajosamente con los procesos convencionales, tales como el de destilación por compresión de vapor o el de evaporación de efectos múltiples.

Los diversos estudios, incluyendo los efectuados por Dean Everett D. Howe, la Universidad de California; el doctor George O. G. Löff, de Denver, Colorado; los Laboratorios de Investigación Bjorksten, de Madison, Wisconsin, y el Instituto Memorial Battelle, de Columbus, Ohio (los tres últimos bajo contrato con el Departamento del Interior), indican que las futuras mejoras en las sencillas unidades de destilación solar y el mejoramiento del factor de carga de las plantas de evaporación tienen buenas probabilidades de disminuir los costos de producción a un nivel que haga que esas unidades resulten muy atractivas en ciertas localidades.

La cristalización, otro proceso físico de separación, implica la formación de una fase cristalina sólida de una solución líquida, y es bien conocida como proceso industrial de separación, siendo la condensación de jugos de frutas una forma familiar. Se conoce también comúnmente la formación de cristales de hielo. Aplicado al agua salada, el procedimiento consistiría en la cristalización de las sales o del agua pura de la solución. Se ha encontrado que la congelación parcial y la fusión del agua salada tiende a separar los componentes salinos del agua pura.

Para comprender mejor los fenómenos que ocurren durante la formación de cristales de hielo en el agua salada y para descubrir los posibles métodos de excluir las sales del agua pura al fundirla, se ha celebrado un contrato entre el Departamento del Interior y Applied Science Laboratories, Incorporated, que cubre ciertas investigaciones básicas. La ventaja aparente de un procedimiento de congelación sobre uno de evaporación radica en el hecho de que el calor latente en la cristalización del agua es, aproximadamente, sólo de un séptimo del de la evaporación. Parece muy posible que pueda desarrollarse un proceso de bajo costo para la desmineralización por cristalización por medio de la refrigeración.

La sublimación, que comprende la transición del estado sólido al gaseoso, y viceversa, ofrece otra oportunidad más. Depende de la existencia de una presión de vapor bien definida para cada sólido distinto. La presión de vapor para un material como la sal en una solución de agua, podría aumentarse en forma suficiente a muy altas temperaturas, a fin de que pudiera encontrarse un mecanismo para la separación.

Pueden inducirse cambios en la estructura molecular y en otras propiedades mediante la suficiente aceleración de las moléculas de una substancia. Un ejemplo de esto es el uso del movimiento vibratorio de alta frecuencia como medio de mantener en suspensión ciertos materiales. La moción vibratoria a frecuencias que exceden el límite del oído (ultrasónicas), puede aplicarse directamente a la separación de sales del agua o como medio de acelerar o facilitar la separación por otros procedimientos.

El Departamento del Interior está llevando a cabo bajo contrato ciertos estudios en la Universidad de Florida para determinar las posibilidades físicas de emplear vibraciones ultrasónicas en la desmineralización de aguas saladas. La investigación es de naturaleza exploratoria y a escala de laboratorio.

Una propiedad importante de las soluciones es la de ósmosis, el flujo espontáneo de una solución más diluida a otra más concentrada a través de una membrana permeable. Este flujo puede evitarse por medio de cierta presión que se conoce como presión osmótica, que se ejerce en la solución más concentrada,

o puede invertirse mediante una presión todavía mayor.

Se están estudiando bajo el Programa de Conversión de Aguas Saladas dos posibles soluciones al problema de desmineralización utilizando la ósmosis. En ambos casos el flujo invertido es el que interesa, y las membranas están diseñadas para dejar pasar agua pura solamente y repeler todo material ionizado.

Un método imaginado por el doctor Gerald L. Hassler, de la Universidad de California, implica la acción selectiva de una membrana osmótica de aceite utilizando el mismo principio por medio del cual se cree que los órganos de nuestro cuerpo y las células individuales pueden separar los constituyentes fluidos. La membrana consiste de una capa de aceite extremadamente delgada sostenida por acción capilar, y las moléculas de agua se difunden a través de ella mientras que se impide el paso de otras moléculas.

En la Universidad de Florida se está investigando otro método por medio del cual se están probando las posibilidades de varias membranas sintéticas. Se ha encontrado que con una de esas membranas puede renovarse, por lo menos, un 90% de las sales en un solo paso bajo presión. Las cantidades de agua desmineralizadas que pueden producirse son muy pequeñas, pero los trabajos ulteriores pueden obtener considerables mejorías.

La separación de las sales del agua salada basándose en sus diferentes solubilidades en líquidos que no pueden mezclarse con el agua, ofrece otra posibilidad. Teóricamente es posible añadir suficientes solventes orgánicos al agua de mar para disolver parte del total de esa agua, concentrando así las sales en la salmuera sobrante y separando subsecuentemente el agua de los solventes orgánicos. La dificultad principal consiste en la identificación de un solvente adecuado que tenga la debida afinidad al agua. Los problemas de separación y recuperación, tanto del agua como del solvente, no pueden ser muy difíciles de solucionar. Bajo contrato con el Departamento del Interior, el Colegio Agrícola y Mecánico de Texas está llevando a cabo investigaciones exploratorias sobre la aplicación de este proceso a la desmineralización económica del agua salada.

Otros procesos y fenómenos físicos podrían ayudar a la conversión de agua salada en agua dulce. Entre ellos se cuentan la absorción, la retención de una porción de un líquido o gas sobre una superficie sólida, las proporciones de paso de los gases a través de membranas porosas que quedan influenciadas por su peso molecular, el efecto Magnus, y muchos otros. Estas posibilidades, aunque se conocen en teoría, necesitan considerables investigaciones físicas y exploratorias antes de que podamos conocer sus limitaciones prácticas.

Entre los procesos y fenómenos químicos que ofrecen posibles soluciones al problema se encuentran tres principales, uno de los cuales se conoce como intercambio de iones.

En su aplicación a la desmineralización del agua, comprende la remoción, tanto del catión como del anión, de la sal disuelta, cambiándolos por un ion menos perjudicial de la substancia de intercambio.

Los cationes se reemplazan ordinariamente con iones de hidrógeno que producen ácidos con los aniones que permanecen en solución. A su vez los ácidos se cambian por el material de intercambio del anión, lo que da por resultado la formación de una cantidad de agua equivalente a las sales removidas. El proceso es diferente del de suavizamiento del agua, en el que sólo se cambian los cationes de calcio y magnesio por sodio, sin que ocurra una disminución real del total de substancias disueltas.

En el procedimiento que estamos describiendo, por cada cantidad equivalente de sal removida debe suministrarse una cantidad correspondiente de substancia química regeneradora. En consecuencia, el procedimiento puede adaptarse mejor a la desmineralización de aguas de baja concentración salina o a la desmineralización parcial para remover únicamente las sales más perjudiciales.

Se está investigando el empleo de arcilla u otras capas naturales de materiales baratos de intercambio de iones, como posibilidad de disminución de los costos de funcionamiento de este procedimiento.

La precipitación química de las substancias minerales del agua salada se emplea extensamente en las plantas de tratamiento de agua para usos industriales o potables. Sin embargo, las cantidades de substancias químicas indispensables para la precipitación son aproximadamente iguales a las de sales removidas, por lo que si se trata de la desmineralización de agua salada en gran escala, las cantidades de substancias químicas necesarias para el tratamiento serían excesivas, con un costo prohibitivo. Los recientes adelantos en la precipitación química han mejorado los procesos existentes para emplearse con fines tales como los equipos de emergencia en balsas salvavidas. Las mayores probabilidades del proceso consisten en la sola remoción de algunos componentes específicos.

Otra posibilidad química es la formación de hidratos insolubles mediante la adición de substancias químicas al agua salada. Es posible la remoción del agua de las soluciones salinas mediante la hidratación de compuestos químicos y su recuperación posterior en forma de agua pura por deshidratación. El agua puede recuperarse cambiando las variantes del procedimiento, tales como temperatura o presión.

EL AGUA SALADA en sí es un electrólito, lo que sugiere la posibilidad de desmineralizarla por electrólisis, método que se ha empleado para el suavizamiento del agua.

Cuando se transmite una corriente eléctrica a través de una solución salina, los cationes de las moléculas de sal de la solución emigran hacia el cátodo, y los aniones, hacia el ánodo. Se han empleado dispositivos diversos para lograr que los iones en movimiento se junten con otros dentro de la pila y se hagan a un lado en la corriente de rechazo, mientras que se recoge separadamente una corriente escasa de iones. Varios de esos dispositivos se utilizan ya en los laboratorios. Hay dos empresas que están investigando los dispositivos que utilizan este principio con la esperanza de producir finalmente una unidad comercial, la Rohm y Haas y la Ionics, Incorporated. Esta última ha fabricado ya una unidad que se está probando actualmente en las aguas salobres típicas de la parte occidental de los Estados Unidos de Norteamérica.

La electrólisis de una solución salina causa generalmente una evolución del hidrógeno en el cátodo y oxígeno, o clorina, en el ánodo. El católito se vuelve básico por la remoción de los iones de hidrógeno, y el anólito se vuelve ácido. Los hidróxidos de los elementos, tales como calcio y magnesio, se precipitan en la cámara catódica, siendo esa precipitación la base para el proceso de suavizamiento de agua, en el que el ánodo y cátodo quedan separados por un diafragma poroso. Una pila semejante, dividida en tres compartimientos, proporciona un medio de desmineralizar el agua salada que entra al compartimiento central, removiéndose progresivamente las sales disueltas hacia los compartimientos adyacentes.

La combinación de las membranas de transferencia selectiva de iones con la electrólisis proporciona un proceso de desmineralización bastante nuevo. Durante la formación de cualquier cantidad de productos en un proceso electrolítico, se transportan cantidades equivalentes de constituyentes de iones a las zonas de electrodos. Debe pasar la misma cantidad de substancias a través de cualquier plano paralelo a los electrodos. En una pila electrolítica, el espacio entre electrodos puede dividirse mediante varias membranas que tienen la propiedad de permitir el paso de un catión o anión, pero no de ambos. Si las membranas permeables a los cationes y aniones se colocan alternadas, se obtiene un método de desmineralización. Con esa colocación se removerán las sales de los compartimientos alternados y se transferirán a través de una membrana a los compartimientos adyacentes, de los que no pueden emigrar eléctricamente, pero pueden removerse hidráulicamente. Por lo tanto, el agua que pasa entre los pares alternados de membranas pierde su contenido de sal, mientras que la que se encuentre entre los pares intermedios se enriquece con ella. La cantidad de energía eléctrica necesaria para la remoción de determinada cantidad de sales es una función del número de compartimientos, de

la resistencia de la unidad y de la proporción del flujo hidráulico.

Se han sugerido algunos fenómenos eléctricos adicionales como susceptibles de emplearse en la desmineralización. Esos procedimientos comprenden procedimientos electrostáticos y electromagnéticos, corrientes de muy alta frecuencia, y otros. De todos ellos sólo hay informes de que se hayan investigado las últimas para disminuir la concentración de sal de las aguas saladas. Sin embargo, falta todavía su comprobación bajo una base más científica.

Hasta hace poco, muchos de los procesos y fenómenos que hemos mencionado eran de interés primordial en las aulas, laboratorios y libros de texto; pero las crecientes demandas de mayores cantidades de agua dulce han hecho que se acepten como ideas que pueden ser útiles. Los que se han desarrollado para usos prácticos proporcionarán medios de compensación de los ajustes que el hombre ha hecho en los patrones establecidos por la naturaleza.

Sería presuntuoso predecir cualquier grado de éxito en estos esfuerzos. Es también muy difícil predecir cuándo se utilizarán en forma práctica los frutos de las actuales investigaciones en este campo. Algunos de estos procesos probablemente requerirán varios años para que se perfeccionen, mientras que otros pueden alcanzar un grado razonable de utilidad más en breve. Sin embargo, parece que ningún proceso aislado en sí podrá suministrar el agua suficiente para las necesidades de la Nación, y que se requerirán varios de ellos para llenar la diversidad de demandas que imponen las condiciones locales.

Sin embargo, el desarrollo de un procedimiento técnico y económicamente factible, será un gran alivio para remediar uno de los mayores y más crecientes achaques de la humanidad, la insuficiencia de agua dulce.

Reconociendo la creciente escasez de agua de los Estados Unidos de Norteamérica y del extranjero, el Congreso, después de la preparación de este capítulo, ha promulgado reformas legislativas a la Ley de Aguas Saladas de 1952, extendiendo su periodo de vigencia hasta 1966 y aumentando las aportaciones totales de 2 millones a 10 millones de dólares. Al hacerlo así ha dispuesto que se lleve a cabo cierta cantidad limitada de trabajos en los laboratorios gubernamentales que ahora existen, pudiendo gastarse una cantidad considerablemente menor en investigaciones en el extranjero, cuando dichas investigaciones contribuyan en forma decidida a la solución de los problemas de nuestro país.

DAVID S. JENKINS *fue nombrado director del Programa de Conversión de Aguas Saladas del Departamento del Interior en 1952, después de su autorización por el Congreso, y anteriormente fue miembro de los Servicios de Investigación Geológica, Conservación de Tierras, Administración de Aeronáutica Civil y Oficina de Recuperación.*

R. J. MCNIESH *ha sido miembro del personal de ingeniería del Programa de Conversión de Aguas Saladas del Departamento del Interior de los Estados Unidos de Norteamérica.*

SIDNEY GOTTLEY *es ayudante ejecutivo del subdirector de programas de la Oficina de Minas del Departamento del Interior, y representa a dicha Oficina en el Comité de Conservación de Aguas Saladas.*

La vieja disputa sobre la rama ahorquillada

Arthur M. Sowder

POCOS ASUNTOS se han controvertido tan violentamente como la adivinación del agua. Pocas actividades se defienden tan violentamente por los que la practican (entre los cuales me cuento en mis ratos libres), o se ridiculizan tan completamente por otros.

De un lado están las palabras y la experiencia de aquellos que han usado por sí mismos una rama ahorquillada para localizar aguas subterráneas, y del otro, un gran número de investigaciones científicas y escritos que declaran categóricamente que la adivinación del agua no es más que una tontería sin ninguna base razonable.

El propósito de este artículo es el de mostrar los dos lados del problema, sin tratar de convencer al lector en una u otra forma. Ninguna discusión sobre agua puede considerarse completa sin mencionar esta antigua disputa.

En diversas épocas he tenido oportunidad de experimentar y discutir la adivinación del agua con toda clase de personas, algunas de las cuales eran adivinadoras. Me di cuenta de que no todos pueden practicar esa adivinación, y que los que se dedican a ella lo hacen en grados diferentes. Los que no pueden practicarla dicen, generalmente en tono de burla, que la adivinación es un truco que se debe a manipulaciones manuales. He probado ramas ahorquilladas de muchas especies de árboles, y cada una de ellas ha dado resultados; pero las ramas de durazno, manzano y arándano parecen ser las mejores. Sujeto firmemente las puntas de la rama con las palmas de las manos vueltas hacia arriba. Al comenzar tengo el vértice de la rama apuntando hacia arriba, y a medida que me aproximo al agua en movimiento, puedo sentir la tensión a medida que ese vértice comienza a inclinarse hacia abajo. Cuando me encuentro sobre el agua, queda apuntando hacia abajo, habiéndose movido a través de un arco de 180°. Una rama de madera quebradiza se romperá en mis manos a medida que el vértice se mueve hacia abajo; pero las ramas flexibles se encorvarán hacia abajo a pesar de los esfuerzos para conservarlas derechas.

DOY AHORA ALGUNOS extractos de los trabajos publicados para indicar el pro y el contra.

Las personas interesadas harán bien en leer la publicación número 416 sobre suministro de aguas, titulada *La Rama Adivinatoria, Historia de Brujería Acuática,* por Arthur J. Ellis, que se publicó en 1938 por la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica.

En una nota introductoria, el doctor O. E. Meinzer escribió lo siguiente: "El bosquejo de la historia de este asunto que se da en las siguientes páginas permitirá probablemente, a la mayor parte de los investigadores sinceros, apreciar la inutilidad práctica de la adivinación del agua y otras aplicaciones de la rama adivinatoria; pero aquellos que deseen profundizar más en los misterios de este asunto, pueden acudir a la literatura que se cita en la bibliografía, en la que encontrarán una información minuciosamente detallada sobre las extensas investigaciones y seudoinvestigaciones sobre cada una de las fases de la cuestión, así como todas las explicaciones imaginables de los supuestos fenómenos.

"Es dudoso que se hayan dedicado a cualquier otro asunto tantas investigaciones y discusiones con una falta tan absoluta de resultados positivos. Es difícil imaginarse cómo podría desacreditarse tan completamente esta cuestión para fines prácticos, y debe ser obvio para todos que los experimentos ulteriores efectuados por la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica sobre la llamada adivinación de agua, aceite u otros minerales, no son más que un desperdicio de los fondos públicos."

Casi la mitad del folleto se destina a una bibliografía presentada en orden cronológico desde los principios del siglo XVI.

Arthur J. Ellis escribió lo siguiente:

"Los orígenes de la rama adivinatoria se pierden en la antigüedad. Los que han estudiado este asunto han descubierto en la literatura antigua muchas referencias más o menos vagas al mismo, y aunque es cierto que se empleaban ramas o varas de ciertas clases entre los pueblos de la antigüedad para predecir los acontecimientos y encontrar objetos perdidos, así como generalmente en prácticas ocultas, se sabe muy poco sobre la forma en que se usaban esas varas o ramas, o la relación, si existe, que pudieran tener con las que se emplean en la actualidad. En la *Biblia* se menciona muchas veces la 'vara' en relación con ciertos sucesos milagrosos, especialmente en el Libro de Moisés..."

En un artículo que se publicó en el número de junio de 1954 de Carreteras de Arizona, Gastón Burridge escribió:

"Me he interesado en los fenómenos de adivinación durante casi 40 años, no como participante, ya que no tengo ninguna de las facultades de los adivinadores, sino simplemente como observador.

Creo que he conocido todos los implementos de localización que existen, desde una sencilla rama ahorquillada de sauce hasta un aparato 'electrónico' con valor de $10,000. Creo que he conocido tantos métodos, escuchado tantas teorías, recibido tantas explicaciones y hecho tantos experimentos como cualquier habitante del Sudoeste. He sido testigo de 'adivinaciones de plano', y 'adivinaciones a larga distancia'. He formado parte de expediciones para localizar agua, aceite, minerales y tesoros ocultos. He oído todos los 'errores' cometidos por los adivinadores y me he tomado el trabajo de hacer algunas investigaciones, y ahora puedo equiparar todas esas historias con los 'errores' cometidos por los perforadores de pozos y los geólogos.

"La mayoría de los adivinadores que he conocido creen que el instinto de adivinación, habilidad, fuerza, 'sintonización', o lo que sea, le viene de nacimiento a una persona; pero también creen que puede desarrollarse la habilidad innata, y que su utilización puede incrementarse con el estudio y la práctica. Muchas gentes tienen esa capacidad, pero no lo saben, ya que nunca han tenido razones u oportunidad de comprobarlo. Algunas personas que han estudiado este asunto, creen que una entre cada 1,000 tiene cierta capacidad de adivinación, y que una persona de cada 10,000 tiene la suficiente capacidad para convertirse en un buen adivinador. Quiero aclarar aquí, de una vez por todas, que existe una gran diferencia entre un adivinador cualquiera y un buen adivinador."

KENNETH ROBERTS escribió lo siguiente en su libro *Henry Gross y su Varita Adivinatoria* (Doubleday, 1951):

"Todas las burlas de todos los geólogos del mundo no pueden alterar en modo alguno la constante exactitud de la vara adivinatoria en las manos de Henry Gross. Todos los gritos de 'truco', 'curiosa superstición', 'engaño fantástico', 'embuste', 'brujería', 'seudociencia', no pueden destruir, o siquiera disminuir, el valor de las adivinaciones de Henry, de cuyos constantes éxitos Horace Levinson y yo damos testimonio con la publicación de este libro...

"El hombre que ahora se burla de la vara adivinatoria se habría mofado hace 50 años de la radio, de la televisión y de los aviones de propulsión a chorro que hoy viajan a velocidades supersónicas."

EL LIBRO DE Kenneth Roberts fue comentado por Thomas M. Riddick en un artículo titulado "La Adivinación es una Insensatez", que apareció en el número de julio de 1951 de la revista "Harpers". El comentarista, miembro de la Asociación Norteamericana de Obras Hidráulicas, escribió: "Si este libro sobre adivinación indicara que Henry Gross poseía facultades extraordinarias, explicables o no, que le permitieran localizar aguas subterráneas que pudieran extraerse, sería el más ardiente partidario de su causa; pero no existe tal indicación ni mucho menos ninguna prueba y para aceptar la creencia de Kenneth Roberts es necesario olvidarse por completo de los principios básicos de hidráulica, hidrología, meteorología, física, termodinámica y geología, y aun de las leyes fundamentales de la gravedad."

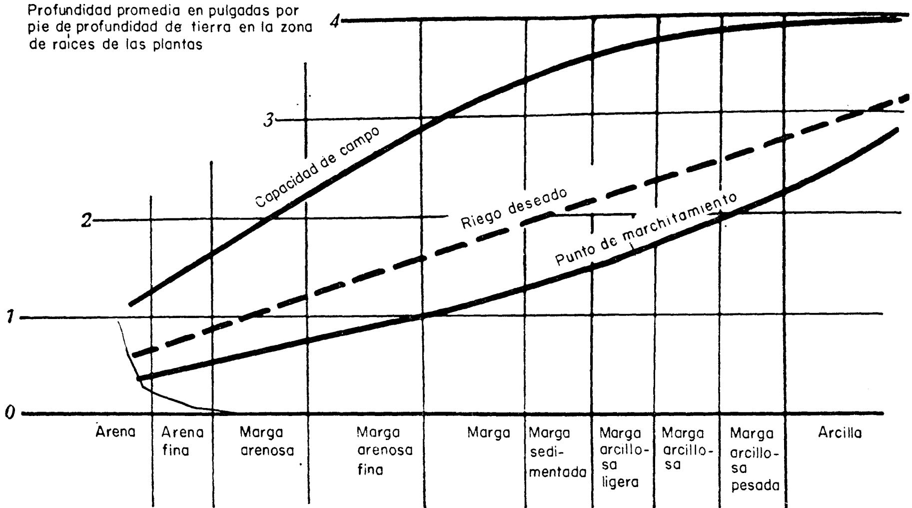
Así están las cosas.

La falta de espacio no permite dar una lista completa de las posibles referencias sobre el tema de la adivinación. Algunos títulos, sin embargo, indicarán la forma en que se ha tratado este asunto: El Embuste de la Adivinación. Brujería Acuática. La Interpretación de un Patrón Ritual en una Comunidad Rural Norteamericana. Contestaciones de un Adivinador. El Problema de la Vara Adivinatoria. La Adivinación para Cualquier Fin. ¿Puede Encontrar Realmente Agua un Brujo Acuático?; y Varas Mágicas y Localizadores de Metales.

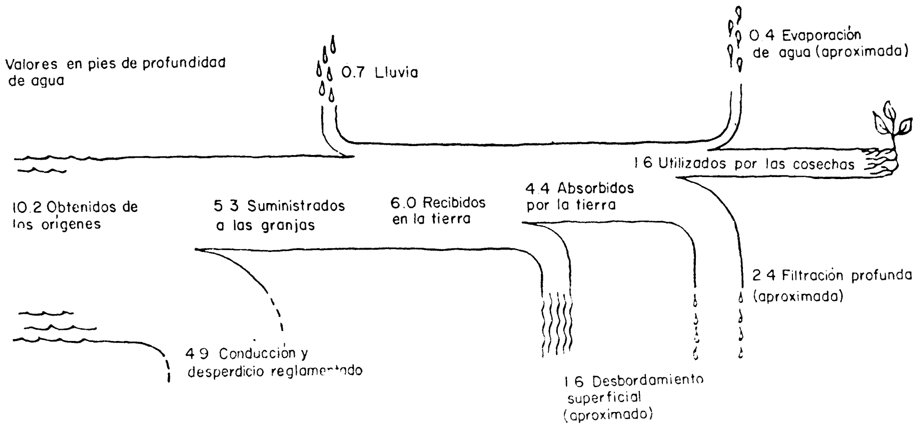
La controversia continuará hasta que alguien pueda explicar y comprobar los movimientos de la rama ahorquillada.

ARTHUR M. SOWDER *es guarda forestal del Departamento de Agricultura y tiene diplomas de ciencia forestal de las Universidades de Idaho y Yale, habiendo sido profesor de silvicultura en la Universidad de Idaho antes de unirse al Departamento en 1936.*

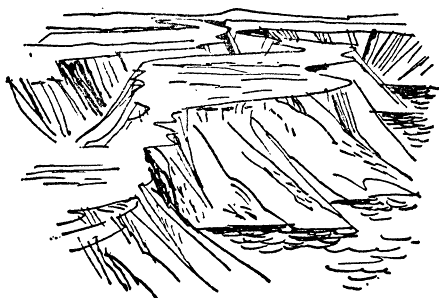
CARACTERISTICAS TIPICAS DE RETENCION DE AGUA EN TIERRAS DE DIFERENTE CONTEXTURA



FORMA DE DISPOSICION DEL AGUA DESVIADA Y BOMBEADA PARA RIEGO EN UN ESTADO DEL OESTE EN 1949



El agua y nuestra tierra



Cómo moldeó el agua la faz de la tierra

Guy D. Smith y Robert V. Ruhe

ANTES DE QUE LOS HOMBRES comenzaran a utilizar la tierra de este país, no importaba si esa tierra recibía poca o mucha agua. Sin embargo, esto nos importa ahora, porque el agua o la falta de ella produjo ciertas características en las tierras que persisten todavía y deben tenerse en cuenta cuando las cultivamos.

En el paisaje natural, antes de que se utilizaran las tierras, el agua las influenció por medio de la erosión. Como agente de deterioro, el agua ataca y disuelve los minerales, mueve las materias solubles en solución y las insolubles en suspensión de una parte de la tierra a otra, y remueve completamente las substancias contenidas en el agua del suelo. Indirectamente el agua afectó las clases de plantas que crecían, su proporción de crecimiento y los microorganismos que descompusieron las hojas, tallos y raíces de las plantas muertas. El agua, por lo tanto, tuvo parte importante en la determinación de la clase y cantidad de materia orgánica en la tierra, y la totalidad de las propiedades físicas y químicas afectadas por esa materia orgánica. A su vez, la cantidad de agua recibida por una tierra quedó influenciada por las lluvias, humedad, vientos y demás factores climatológicos, así como por la forma de la superficie de la tierra y las características subterráneas que afectaron el movimiento del agua.

El agua, los vientos, el hielo y la gravedad, pueden arrancar y transportar los materiales de la tierra. De los cuatro, el agua corriente es la que tiene más importancia en la modificación de los paisajes terrestres.

La lluvia inicia el trabajo del agua corriente, ya que el solo impacto de las gotas de lluvia en la tierra sin protección puede desalojar sus partículas, iniciando así su deterioro.

La lluvia se dispersa en dos formas: Por infiltración, penetrando dentro del suelo, o por desbordamiento en la superficie. Las cantidades de infiltración y desbordamiento relativas se determinan por la naturaleza de la lluvia, el declive de la tierra, las características de las tierras y rocas locales y la naturaleza y cantidad de la vegetación.

Las fuertes y abundantes lluvias producen un desbordamiento considerable, y los declives muy acentuados contribuyen a ese desbordamiento. Las tierras y rocas permeables causan mayores infiltraciones que los materiales menos porosos, y un manto escaso de vegetación contribuye al desbordamiento.

El desbordamiento en parajes sin obstáculos toma la forma de grandes mantos de agua que pueden remover grandes cantidades de material en los declives desnudos de vegetación o que la tienen muy escasa.

El desbordamiento que ocurre dentro

de ciertos límites, ya sea en riachuelos o arroyos, tiene una fuerza concentrada de erosión y abre canales que pueden aumentar rápidamente de longitud y profundidad. Esa erosión de los arroyos puede causar formaciones espectaculares en la tierra, como hondonadas, tierras desgastadas o aun grandes cañones.

El corte y atrincheramiento de un arroyo produce inmediatamente tres elementos del paisaje: El lecho del río, la ladera del valle y la tierra alta. El cuarto elemento, el pedimento, se desarrolla más tarde, y es la superficie con ligero declive que queda entre el arroyo y la ladera del valle después de que ésta se aleja del arroyo.

De los cuatro elementos, la ladera del valle es más susceptible a la erosión, debida a procesos complejos, a causa de su gradiente más fuerte.

El lecho del río puede sufrir una modificación posterior, pero continuamente decreciente, a medida que el arroyo se ajusta al nivel básico de erosión, el nivel en que el agua deja de fluir y transportar cualquier material. El lecho del río proporciona un control importante dentro de su vertiente, ya que constituye el nivel básico de erosión general para todos los arroyos tributarios. Como la ladera de un valle que va hacia abajo de una corriente de agua no puede sufrir erosión más allá del nivel del lecho del arroyo, el nivel básico de erosión general para las laderas del valle es el nivel del arroyo principal.

El mecanismo fundamental en la evolución del paisaje debida a la erosión del agua, es el retroceso de la ladera del valle hacia la tierra alta sin que importe el clima; pero este proceso es más obvio en el desierto. Las laderas de los valles a lo largo del arroyo principal, de sus tributarios y de los riachuelos auxiliares, quedan sujetas a intensos ataques debido a diferentes procesos, tales como la producción de zanjas, los grandes mantos de agua, el amontonamiento y el resbalamiento. La dominación de cualquier proceso depende de la naturaleza e intensidad de las lluvias, de las características de las laderas de los valles, de las características de las tierras y rocas locales y de la naturaleza y cantidad de vegetación.

El mayor factor de control de la erosión lo constituye el arroyo principal, cuyo lecho tiende a hacerse más plano hacia su desembocadura. Esos gradientes son también característicos de los tributarios y riachuelos auxiliares. Las laderas de los valles retroceden en tal forma que los pedimentos, la superficie de tierra que se encuentra entre las laderas de los valles y los arroyos, tienen un declive menor a proximidad de los mismos.

Por lo tanto, el nivel básico general bajo el cual no puede progresar la erosión es una superficie curva que queda controlada por el arroyo principal y que se eleva con un gradiente cada vez mayor hacia las orillas de la vertiente hidráulica. Este paisaje curvo, semejante a un cucharón en su forma, es característico de la mayoría de las vertientes, independientemente de su tamaño, y puede considerarse como la unidad normal de paisaje desarrollada por la erosión del agua.

Si se encuentran presentes rocas duras, se desarrolla en el pedimento, a medida que se forma, una capa de grava transportada llamada línea de piedra. Esa línea de piedra queda cubierta ordinariamente por espesores variables de sedimento de contextura más fina, llamado pedisedimento. En las etapas finales de la erosión, las laderas de los valles, que se alejan de los arroyos adyacentes, se encuentran y desaparecen, uniéndose a los pedimentos y produciendo una superficie regional más baja, la pedillanura. El proceso de formación de pedimentos se llama pedimentación.

Existen muchas clases de relaciones de tierra y humedad en la naturaleza; pero cuatro de ellas determinaron principalmente las clases de tierra que encontraron los primeros pobladores, y que pueden llamarse, para mayor sencillez, el desierto, la pradera, el bosque y el pantano.

En el desierto, las escasas lluvias y la evaporación elevada mantuvieron seca la tierra la mayor parte del tiempo. Un aguacero ocasional humedeció la superficie de la tierra, y a veces puede haber penetrado una poca de agua a unos cuantos pies antes de que se absorbiera por

las raíces de las plantas o por la evaporación.

Las substancias solubles que se encontraban cerca de la superficie fueron arrastradas por el desbordamiento o penetraron con el agua hacia abajo en la tierra, depositándose cuando la misma se absorbió. Los materiales fácilmente solubles, como la sosa, fueron los primeros en moverse. Después se disolvieron lentamente los fragmentos de piedra calcárea cerca de la superficie, y la cal se depositó de nuevo en una capa más profunda. Esa cal nuevamente depositada, llamada caliche, se acumuló tanto en forma de grandes capas sólidas como de polvo blanco y suave, y fue la primera evidencia de desarrollo de la tierra en nuestros desiertos. El caliche se encuentra normalmente en las tierras altas y es muy común en los pedimentos.

Después de que se formó parcialmente el caliche, las aguas que se filtraban ocasionalmente comenzaron a mover parte de la arcilla (en partículas muy finas, ordinariamente de menos de .00002 de pulgada de diámetro), que se encontraba en suspensión, de la capa superficial al subsuelo. La arcilla se depositó en el subsuelo inmediatamente arriba del caliche, como relleno de los poros y hendiduras. El movimiento de la arcilla, sin embargo, fue muy lento comparado con el de la cal y las tierras que muestran un horizonte (capa paralela a la superficie) de acumulaciones de arcilla; son menos comunes que las que tienen horizontes de caliche.

Las áreas bajas en donde se juntaban y evaporaban las aguas de desbordamiento quedaron enriquecidas con las sales solubles. Aunque a medida que tenían humedad disponible durante la mayor parte del año, el agua era tan salada que sólo podían crecer las plantas más tolerantes a ella.

Las tierras desérticas sólo podían sostener generalmente arbustos aislados, porque las tierras se secaban muy a menudo y se acumulaba poca materia orgánica en ellas (generalmente menos de 5 toneladas por acre en la capa de surco).

No sólo las escasas cantidades de lluvia produjeron un lento desarrollo de la tierra, sino que las lluvias abundantes y poco frecuentes en las superficies, con escasos mantos vegetales, arrastraron todos los materiales superficiales de las laderas de los valles y depositaron algunos de ellos en los pedimentos. Las erosiones o depósitos a menudo fueron más rápidos que el desgaste causado por el clima y las formaciones de tierra. De esa manera la relación de la erosión al desgaste producido por el clima dio como resultado un desarrollo general relativamente débil en el desierto, y la relación de lluvia a vegetación explica la curiosa paradoja de que en el paisaje natural la erosión más notable ocurrió en el desierto, que era donde había menos agua.

En la pradera que bordeaba el desierto, la tierra se conservaba húmeda durante mayores periodos de tiempo y se cubrió con un apretado manto de hierba. La lluvia era suficiente para sostener la hierba, pero sólo en años más húmedos había un sobrante de agua para saturar las capas superiores de la tierra y filtrarse fuera del alcance de las raíces de la hierba. Esto dio como resultado la formación de una tierra que se distinguía por una capa superficial gruesa, negra o de color café muy oscuro, con un gran contenido de materia orgánica, hasta de 100 toneladas por acre en las primeras 6 ó 7 pulgadas, y debajo de la cual había una capa (u horizonte) en la que se acumulaban los materiales más lentamente solubles, como la cal.

Después de que la cal se había disuelto y se había removido de la capa superficial, muchos de los minerales de las rocas se volvieron inestables, perdieron sus elementos alcalinos, tales como el calcio, y se alteraron químicamente para convertirse en arcilla. Esos cambios fueron muy lentos y necesitaron de una capa estable de tierra durante muchos cientos de años para que pudieran notarse. Si la superficie de la tierra alta era estable, una parte de la arcilla formada en el primer pie superficial se arrastró en suspensión gradualmente por el agua que se filtraba dentro del subsuelo. En éste se filtraron las partículas de arcilla o el agua se absorbió por las raíces de las plantas, depositándose la arcilla en forma de cubierta a lo largo de los canales de la tie-

rra. Este proceso de translocación de la arcilla continuó en muchas de las superficies planas de la tierra alta, hasta que los poros y canales del subsuelo se obstruyeron con ella. Entonces el agua, incapaz de penetrar fácilmente al subsuelo, formó una meseta de agua elevada sobre el mismo. Los subsuelos que han alcanzado ese grado de acumulación de arcilla se llaman mantos de arcilla.

La erosión natural fue mucho más lenta bajo el manto de hierbas en las praderas subhúmedas que en los desiertos. Las gotas de lluvia no pegaban directamente en la tierra, sino que perdían su energía en la hierba, y el desbordamiento total fue considerablemente mayor que en el desierto, aunque el agua de desbordamiento tenía menos oportunidad de desalojar partículas de tierra de las laderas de los valles y el agua de los arroyos generalmente se encontraba limpia.

Las formas de los paisajes, la ocurrencia de líneas de piedra y la presencia de tierras más fuertemente desgastadas en las vertientes montañosas, indican que la erosión natural en las praderas, como en el desierto, fue una pedimentación. Se encuentran evidencias ulteriores de pedimentación en los extensos depósitos de marga suelta (un depósito de partículas arrastradas por el viento que varían en diámetro de aproximadamente 0.002 a 0.0002 de pulgada), en las praderas del medio Oeste, que cubren generalmente las tierras altas, pero que se encuentran ausentes en la mayoría de las laderas de los valles. Ese manto de marga suelta es también una evidencia de la estabilidad de las superficies de la tierra alta bajo el manto de hierbas. Los estudios del carbón radiactivo de la madera enterrada en ese manto de marga demuestran que comenzó a acumularse hace aproximadamente 25,000 años, y que continuó acumulándose durante otros 15,000 años más, así que ha persistido por unos 10,000 años en las ondulaciones de las tierras altas, aunque originalmente no tenía más de 2 ó 3 pies de grueso.

En los bosques que se extendían desde las praderas hasta nuestras costas, la lluvia era generalmente lo suficientemente abundante para permitir que cada año se filtrara cierta cantidad de agua a través de la tierra y llegara hacia abajo hasta el agua del suelo. En las superficies estables de la tierra se removieron por completo todos los materiales fácilmente solubles, y esas tierras consisten de materiales que son practicamente insolubles en el agua. Los minerales que contienen elementos alcalinos, tales como calcio, magnesio y potasio, que se requieren para el crecimiento de las plantas, son inestables en esas tierras húmedas y se alteraron gradualmente hasta convertirse en formas más estables. Aunque las tierras eran jóvenes, la descomposición de los minerales produjo un lento y creciente suministro de sustancias nutritivas que quedaron disponibles para las plantas. Esta lenta acumulación de sustancias nutritivas continúa todavía en las tierras formadas en los depósitos que ocurrieron durante la última gran invasión de glaciares. Esos depósitos cubrieron la mayor parte de New York, la Nueva Inglaterra, el área al norte del río Ohio, una faja de 30 a 50 millas de ancho al este de los lechos del río Mississippi y parte del estado de Washington.

En la mayoría de las áreas boscosas restantes, las tierras son mucho más antiguas y contienen pocos minerales que puedan desgastarse. En ellas los elementos alcalinos necesarios para la planta se conservaron en gran parte en sus hojas y madera y se utilizaron una y otra vez. Las plantas vivían en una constante lucha para capturar y retener esos elementos e impedir que fueran deslavados por el agua.

Los minerales que podían desgastarse se transformaron en gran parte en arcilla y óxidos de hierro que son relativamente insolubles en el agua. La formación de esos elementos se inició en la superficie y continuó hacia abajo a medida que se desgastaban las rocas, a veces hasta profundidades de varias decenas de pies. Aunque continuó el desgaste en las capas más profundas, se producían soluciones de óxido de hierro en la superficie por los compuestos orgánicos que se originaban en el agua del follaje de desecho, volviéndose a depositar nuevamente ese hierro a veces sólo unas cuantas pulgadas bajo la superficie, y otras más pro-

fundamente en la tierra; pero como el óxido de hierro es el que hace que las tierras se vuelvan rojas o cafés, cuando se removió la superficie quedó de nuevo decolorada y gris.

Las partículas de arcilla en la capa superficial de un pie o dos se removieron también, en parte probablemente debido a la destrucción de la arcilla, pero también al ser arrastradas en suspensión por el agua que se movía hacia abajo hasta el subsuelo. Allí se filtraba o se depositaba en las paredes de los poros y hendiduras cuando el agua se reabsorbía por las raíces de los árboles.

Así se desarrolló gradualmente en la región forestal una serie de horizontes o capas que diferían en color y contenido de arcilla y óxido de hierro como resultado del continuo deslavamiento por el agua. La primera pulgada o dos de la superficie quedaron manchadas con la materia orgánica de la lama de las hojas. La siguiente capa se decoloró y contenía tan pequeñas cantidades de arcilla que no se volvió pegajosa ni plástica al humedecerse. La tercera capa era más café o roja que la segunda, debido a la acumulación de óxido de hierro. En la mayoría de los lugares fuera del norte de Michigan, del norte de New York y de la Nueva Inglaterra, esta tercera parte contenía la arcilla suficiente para que se volviera pegajosa y plástica al humedecerse. Debajo de ella se encontraba la roca desgastada o sin desgastar, u otro material del cual se formó la tierra.

En nuestro país no se han estudiado detalladamente los procesos naturales de erosión bajo los bosques, pero las evidencias citadas en la región de la pradera se duplican en la región del bosque y de nuevo indican una pedimentación. No sabemos que haya ocurrido una formación cíclica de zanjas seguida de rellenos en muchas de las hondonadas de diversas áreas, pero el profundo desgaste general de las tierras sugiere que la erosión natural fue mucho más lenta que los procesos de desgaste.

EN LAS CHARCAS y pantanos la meseta de agua se encontraba muy cerca de la superficie, por lo menos durante cierta parte de cada año.

En los lugares donde esa meseta se encontraba arriba de la superficie, los restos de los setos, juncos y árboles quedaron protegidos por el agua contra la descomposición y se acumularon para formar turba o abono vegetal.

Si la meseta de agua se encontraba en la superficie o inmediatamente debajo de ella durante una gran parte del año, ordinariamente ocurría un lento pero significativo movimiento del agua hacia abajo. Las tierras que entonces se formaban tenían muchas propiedades en común con las tierras altas vecinas, pero diferían en un aspecto importante. El oxígeno faltaba en el agua estancada y el hierro tendía a volverse más fácilmente soluble, lo que hacía que desapareciera completamente o que se concentrara en pequeñas pepitas duras semejantes a perdigones, o en grandes masas de piedra ferruginosa o mineral ferruginoso de pantano. Los lugares de acumulación dependían del movimiento del agua, ya que el hierro se mueve lenta pero constantemente en ella.

LOS HOMBRES BLANCOS que trataron de utilizar la tierra primeramente, llegaron por nuestras costas del Este a la región del bosque, de donde las aguas que se filtraron durante las épocas históricas, habían removido todos los elementos nutritivos de las plantas que no se encontraban en los árboles mismos. Los primeros pobladores trataron de labrar la tierra con los mismos métodos empleados en la Europa Occidental, en donde los elementos nutritivos se habían concentrado en las tierras arables durante muchos siglos de abono con estiércol de los establos mezclado con desechos de los bosques y tierra recogida de los pastos comunes. Cuando se emplearon en el nuevo país esas mismas prácticas, la labranza fue difícil y las cosechas pobres, pero se inició una agricultura permanente. En aquellos lugares donde se confió en las cosechas de dinero, tales como el algodón y el tabaco, se agotaron rápidamente o se deslavaron los pocos elementos nutritivos que había en el bosque. Como se desconocían los fertilizantes, se adoptó una agricultura cambiante, en la cual se desmontaba un campo y se cultivaba por unos cuantos años hasta que disminuían

sus rendimientos, y entonces se desmontaba otro nuevo. Se evitaban los pantanos, porque había tierras mejores que podían desmontarse, y se desconocían los métodos de desagüe o eran muy costosos.

Los cultivos se propagaron lentamente hacia el Oeste hasta la orilla de las praderas, habiéndose detenido allí por corto tiempo debido a las capas de tierra cubierta de hierbas que los arados de entonces no podían romper. Cuando se introdujo el arado de reja de acero y pudo romperse esa capa de hierba, los cultivos se propagaron rápidamente a través de las llanuras. Los colonos usaban las tierras húmedas para praderas y pasturas y cultivaban solamente las áreas mejor desaguadas en donde el agua no se estancaba nunca. Como las tierras de pradera contenían bastantes elementos nutritivos, las cosechas dieron rendimientos excelentes y la producción de granos aumentó. Las tierras naturalmente fértiles no costaban nada, y se abandonaron muchas granjas que habían estado produciendo granos en las tierras deslavadas de los estados del Nordeste. Se continuó sembrando algodón y tabaco en los estados del Sudeste, debido principalmente a que ya se habían descubirerto en Europa las artes de la manufactura y utilización de fertilizantes y se habían introducido en nuestro país. Los fertilizantes comenzaron a usarse alrededor de 1850, y su empleo constituyó la primera modificación extensa de una deficiencia causada por el agua.

Hacia fines del siglo XIX se había poblado la mayor parte de las mejores tierras de granja, y el interés principal en la expansión agrícola cambió de desmontar las praderas y talar los bosques a un uso más intenso de la tierra de las granjas. Las charcas, pantanos y turberas esparcidos en miles de granjas y concentrados ocasionalmente en grandes áreas, ofrecían las mejores oportunidades para la expansión agrícola. El adelanto de las artes mecánicas puso a disposición de los agricultores las máquinas para mover tierras y los tubos de desagüe, y éste se inició en gran escala. Se excavaron canales para dar salida a las aguas, se enderezaron algunos arroyos, se construyeron represas, se instalaron tuberías de ladrillo, y para 1910 se estaba cultivando la mayor parte de las tierras húmedas naturalmente fértiles.

Durante ese periodo, y poco tiempo después, se desarrollaron las tierras que eran más fáciles de regar y se conquistó la última frontera.

Ahora debemos estudiar los métodos mejores para controlar la erosión y aumentar la infiltración en muchas partes de nuestro país, así como la mejor forma de utilizar aquellas tierras que ya han sido dañadas por la erosión y la manera de utilizar en forma más eficiente la escasa agua de riego en el Oeste.

Sin embargo, hemos hecho grandes progresos para resolver problemas igualmente difíciles en épocas anteriores y podemos esperar que sepamos resolver los nuevos problemas.

GUY D. SMITH *está encargado de las investigaciones e inspecciones de tierra del Servicio de Conservación de Tierras, y ha trabajado en problemas de formación, clasificación y utilización de tierras, desde 1930, con la Universidad de Illinois y el Departamento de Agricultura.*

ROBERT V. RUHE *es geólogo investigador de los Servicios de Investigación y Conservación de Tierras y ha trabajado desde 1946 como miembro del personal del Colegio del Estado de Iowa, Inspección Geológica de Iowa, Consejo Nacional de Investigación y la Agencia de Seguridad Mutua en el Congo Belga.*

Cómo corroen la tierra las lluvias y los desbordamientos

Ben Osborn

LA ACCIÓN EROSIVA de las aguas es el efecto de la energía desarrollada por su movimiento a medida que caen hacia la tierra en forma de lluvia o que corren sobre ella en forma de desbordamiento.

La acción característica de las gotas de lluvia y el flujo superficial se derivan de las diferentes direcciones en que se

aplica su fuerza a la superficie de la tierra. Las gotas de lluvia pegan en la tierra en dirección vertical. El agua corriente se mueve horizontalmente sobre ella. La naturaleza del trabajo efectuado y la dirección en que se mueven sus partículas son diferentes, por lo que sus efectos se conocen con los nombres de erosión por salpicadura y erosión por frotamiento.

La erosión por salpicadura es el primer efecto de un aguacero sobre la tierra. Las gotas de lluvia penetran en la tierra expuesta y la esparcen como si fueran innumerables y pequeñas bombas. Destrozan los terrones y gránulos y los reducen a partículas. Levantan la tierra en el aire y la salpican una y otra vez, y después de que la tierra queda cubierta de agua, las gotas de lluvia crean turbulencias en los mantos de desbordamiento y ayudan a mantener en movimiento los materiales dispersos.

Pueden verse en cualquier parte los efectos de esa acción de salpicadura después de una fuerte lluvia. La tierra que se adhiere al follaje o a los cimientos de los edificios atestigua la gran cantidad ella removida por la acción de las gotas de lluvia. Los pequeños pedestales de tierra en cuyo vértice hay una piedrecilla o cualquier objeto que protegía el área que se encontraba debajo de ellos, revelan la extensión de esa remoción de la tierra. Si esos pedestales tienen la misma sección de sus cubiertas protectoras y no están rebajados en los lados, quiere decir que la fuerza erosiva se aplicó principalmente desde arriba por las gotas de lluvia más bien que en forma horizontal por el desbordamiento.

El peso muerto de una capa de agua de una pulgada en una superficie de un acre es mayor de 110 toneladas. Ese peso, que cae en forma de incontables gotas durante una fuerte lluvia y que a menudo está empujado por vientos violentos, golpea con fuerza terrible y su impacto suministra la mayor parte de la energía que produce la erosión.

Se ha calculado la energía total de las gotas de lluvia como aproximadamente igual a 100 caballos de fuerza por acre durante lluvias de 0.1 de pulgada por hora, y a 250 caballos en lluvias de 2 pulgadas por hora. Esta última fuerza es suficiente para levantar 86 veces durante una hora de lluvia una capa de tierra superficial de 7 pulgadas de espesor, o sea la energía equivalente a 518 millones de pies-libra de trabajo.

Esto podría ser de 1,000 a 100,000 veces la energía cinética de los delgados mantos de agua de desbordamiento que son resultado de las mismas tormentas. A veces el desbordamiento es tan escaso que apenas constituye un 10% de la lluvia, y en los declives moderados puede moverse a velocidades de 0.3 a 3 pies por segundo, comparadas con los 30 pies aproximados por segundo de las gotas que caen. La fuerza de las gotas de lluvia que caen puede ser equivalente a 10,000 veces la energía del desbordamiento superficial en las fuertes tormentas de verano, aun en los declives más pronunciados.

La capacidad erosiva de las gotas de lluvia es consecuencia de tres factores: Cantidad e intensidad de la lluvia, diámetro de las gotas y velocidad de las mismas al golpear el suelo. La velocidad varía con el diámetro de las gotas después de que han caído lo suficiente para alcanzar su velocidad máxima.

Una pulgada de agua que caiga en forma de grandes gotas durante una fuerte tormenta tiene muchas veces la capacidad erosiva de una pulgada de lluvia fina que dure varias horas.

Las gotas varían de tamaño desde un rocío muy fino hasta aquellas que tienen casi 8 milímetros o un tercio de pulgada de diámetro. Las gotas de mayor tamaño se dividen en gotas más chicas a medida que caen.

Toda lluvia consiste de gotas de muchos tamaños diferentes, ocurriendo gotas más grandes en las lluvias más fuertes. El tamaño mediano varía de 1.47 milímetros a una intensidad de 0.1 de pulgada por hora, hasta 4.25 milímetros en lluvias de 10 pulgadas por hora.

La velocidad de las gotas que caen varía con su tamaño. Las más grandes, de 3 a 6 milímetros de diámetro, alcanzan una velocidad máxima de 26 a 30 pies por segundo, después de una caída de 24 a 26 pies en aire tranquilo. Prácticamente todas las gotas de una lluvia

natural alcanzan su velocidad máxima cuando llegan a la tierra. Si ocurren vientos, sus velocidades pueden exceder grandemente de las velocidades terminales debidas a la **gravedad.**

La cantidad de tierra puesta en movimiento por una sola gota de lluvia es directamente proporcional el cuadrado de su velocidad. Se necesita un cierto impacto mínimo para iniciar el movimiento de la tierra. Una gota de un milímetro de diámetro que caiga a su velocidad terminal aproximada de 10 pies por segundo, puede mover finas partículas de tierra.

La cantidad de tierra desprendida por la lluvia depende de la fuerza de ésta o capacidad de desprendimiento, de las características de la tierra o su facilidad para desprenderse, y del valor de la protección de cualquier cobertura que pueda existir.

Puede medirse la fuerza de la lluvia exponiendo un material uniforme de tierra a las gotas de lluvia bajo condiciones normales y determinando la cantidad de tierra removida en cualquier unidad de superficie. Se ha empleado la tierra fina cuyas partículas tienen de 0.175 a 0.250 de milímetro de diámetro, como norma para esos estudios.

Esas medidas revelaron una capacidad de desprendimiento de 338,000 libras por acre durante una lluvia de 3.8 pulgadas en Tennessee. En San Angelo, Texas, las capacidades de desprendimiento de las lluvias durante un periodo de dos años variaron desde cantidades casi demasiado pequeñas para poder apreciarse, hasta un máximo de 115,200 libras por acre. La lluvia con mayor capacidad de desprendimiento no fue la más abundante sino la de más intensidad, y estuvo acompañada de un fuerte viento.

La susceptibilidad de las tierras para dispersarse bajo las gotas de lluvia es variable. La facilidad con que determinada tierra se pone en movimiento, afecta las cantidades de erosión por salpicadura bajo cualquier combinación de condiciones, cuando las gotas de lluvia caen en la tierra desnuda.

La facilidad de desprendimiento queda influenciada por las características permanentes del tipo de tierra, tales como el tamaño y la forma de sus partículas. Se desalojan con más facilidad las partículas de arena fina, siendo más difíciles de desalojar las partículas más gruesas, debido a su mayor tamaño y peso. Las tierras de contextura fina se desalojan con menos facilidad debido al aumento de la cohesión de sus partículas. La forma afecta la facilidad de desprendimiento debido a las diferencias en el grado de entrelazamiento de las partículas.

Las condiciones temporales o cambiantes de una tierra, tales como su estructura, contenido de materia orgánica, humedad o declive debido a la labranza, afectan también su facilidad de desprendimiento. No es raro encontrar mayores diferencias entre las proporciones de desprendimiento de diferentes muestras del mismo, que entre los promedios de los diferentes tipos.

La salpicadura en las parcelas de tierras de cosecha desnudas, causada por la aplicación normalizada de agua con una capacidad de desprendimiento de 110,000 libras por acre, ha variado desde 33,198 hasta 225,565 libras de tierra por acre. En tierras desnudas de pradera y pastura, la salpicadura de tierra bajo el impacto de gotas de lluvia semejantes, varió desde 8,832 hasta 160,339 libras por acre.

Las muestras de tierra de tierras de cosecha, comparadas con la tierra normal considerada como 100%, han mostrado índices de desprendimiento con valores que varían de 30 a 205%. Los mismos tipos de tierra de praderas y pasturas han mostrado proporciones de desprendimiento de 4 a 100%.

El encharcamiento y el sellado de la superficie de la tierra es otro efecto del impacto de las gotas de lluvia en las tierras desnudas. La fuerza de las gotas de lluvia rompe los terrones sueltos de la superficie, y a medida que la humedad penetra en la tierra se suavizan los materiales de cimentación y los terrones se desintegran desliéndose. En algunas tierras el aire puede quedar atrapado dentro de los terrones y agregados. Las presiones causadas por la compresión de ese aire ayudan a romperlos en partículas individuales.

La acción revolvedora de las gotas de lluvia en la superficie hace que los materiales dispersados se conviertan en una

masa pastosa, y los poros y canales a lo largo de los cuales podría correr el agua se obstruyen muy pronto. En el violento cambio de las partículas en la superficie, las más pequeñas se alojan en los intersticios de las más gruesas y forman un sello impermeable. Aun en las arenas más gruesas, el entrelazado de las partículas superficiales disminuye la absorción del agua.

La fuerza de las gotas de lluvia causa también la consolidación directa de la tierra, pudiendo aplicarse hasta dos terceras partes de la energía de las gotas que caen al apisonamiento y compresión de la tierra superficial.

Esas acciones producen virtualmente una impermeabilización de la superficie de la tierra expuesta durante los primeros minutos de un aguacero. En pruebas hechas con aplicaciones de lluvia artificial, se ha iniciado el desbordamiento en parcelas desnudas después de 1 a 4 minutos de la iniciación de las aplicaciones, perdiéndose de 95 a 98% del agua aplicada en forma de desbordamiento, aun en margas sueltas y arenosas y en arena.

El sellado de la superficie de la tierra impide la infiltración y el almacenamiento de humedad para el crecimiento de las plantas y la producción de cosechas. El agua que se acumula en la superficie causa el desbordamiento, que arrastra todos los materiales sueltos y origina las inundaciones.

La cobertura de plantas en la tierra ofrece una resistencia natural a los procesos de salpicadura, y disminuye las cantidades de tierra desprendidas hasta el grado en que intercepta las gotas de lluvia y absorbe su energía antes de que caigan en la tierra.

La propiedad importante de esa cobertura para disminuir la fuerza vertical de las gotas de lluvia consiste en su capacidad de suministrar un extenso pabellón sobre la tierra. Esto se logra con los desechos que permanecen en la superficie de ella o por la vegetación que se encuentra en pie, siempre que no sea demasiado alta para que el agua que gotea de su follaje adquiera el impacto suficiente para causar salpicaduras. Esta "sombrilla de la tierra" es una función diferente de la cobertura, que requiere características distintas de las que son necesarias para retardar el desbordamiento superficial.

La eficacia para disminuir la salpicadura de la tierra es proporcional a la cantidad de cobertura que se encuentra presente cuando ocurre la lluvia, siendo de importancia tanto el modo en que queda cubierta la superficie de la tierra para protegerla contra las gotas de lluvia como el peso y volumen de la cobertura presente para absorber su energía.

En su papel de protección a la tierra, es más importante la cantidad de vegetación que su clase, aunque las diferencias en la forma de crecimiento de las plantas causan cierta diversidad en esa protección. Se requieren, aproximadamente, 2,000 libras por acre de hierbas cortas, 3,500 libras de cosechas ordinarias o hierbas de manojo y 6,000 libras de cosechas y hierbas altas para proporcionar un control eficaz (95%), de la energía de las gotas de lluvia. Esos valores de protección de la tierra disminuyen rápidamente a medida que la cantidad de cobertura baja de esos niveles.



Las partículas de tierra y los glóbulos de lodo se lanzan en todas direcciones cuando una gota de agua cae en tierra húmeda.

La transportación a través del espacio de los materiales desprendidos de la tierra es el segundo paso en el proceso de erosión. La transportación de la tierra, así como su desprendimiento, es un trabajo que se debe a la energía del agua en movimiento. El desprendimiento se mide en cantidades por unidad de área, tales como libras o toneladas por acre; pero la transportación tiene que medirse en cantidades a través de la distancia,

tales como libras por pie o toneladas por milla.

Las gotas de lluvia tienen poca importancia relativa en la transportación de los materiales desprendidos, aunque en ciertas condiciones sus efectos acumulados pueden ser considerables.

Las partículas de tierra y las gotitas de lluvia cargadas de tierra que saltan al aire, se propagan a varias distancias en todas direcciones a partir del punto de impacto de cada gota. En suelo plano, cuando las gotas caen en sentido vertical, sus efectos tienden a cancelarse, dejando la misma cantidad de tierra en el área al final de la lluvia, pero esas condiciones son poco frecuentes. El declive de la tierra y la dirección del viento imprimen un sentido predominante al movimiento de la tierra esparcida.

Los experimentos de [illegible]atorio en los que se ha hecho que las fuerzas individuales caigan en arena [illegible] diferentes ángulos de declive, indican que el porcentaje de material desprendido que se mueve hacia abajo llega a 50%, más el porcentaje del declive. Como las partículas lanzadas hacia abajo se propagan a una distancia mayor antes de quedar en reposo que las que se esparcen hacia arriba del declive, la tierra removida se mueve gradualmente hacia abajo aun en declives relativamente leves. Las mediciones tomadas en un campo abierto con un declive de 10% mostraron un movimiento tres veces mayor de la tierra esparcida hacia abajo que hacia arriba del declive.

La cantidad de tierra transportada por las salpicaduras de lluvia queda regida por la capacidad de transportación de la energía de las gotas de lluvia, la facilidad con que se mueven los materiales desprendidos y la resistencia ofrecida por la vegetación u otras obstrucciones.

La energía disponible para transportar las partículas removidas es la diferencia entre la fuerza total del impacto y la que se emplea para desalojar las partículas y para consolidar la masa de tierra, o que se disipa en otra forma. Esto varía con las salpicaduras individuales, en parte de acuerdo con el tamaño de las partículas o agregado que se pone en movimiento. Durante las lluvias normales, la tierra se lanza ordinariamente a una altura de 2 ó 3 pies y a una distancia horizontal de 5 pies; pero los grandes agregados de varios milímetros de diámetro se mueven solamente unas cuantas pulgadas y las piedrecillas más grandes apenas se levantan de la superficie o se voltean con el impacto. La distancia se afecta todavía más, dependiendo de que el movimiento sea hacia abajo o hacia arriba y si se hace en dirección del viento o contra el mismo.

La cobertura de plantas interrumpe el movimiento de las salpicaduras. Las mediciones de tierra salpicadas en los forrajes en tierras de pastura extremadamente sobrepastadas en Tennessee, dio cifras hasta de 700 libras de tierra por tonelada de vegetación muy seca después de algunas lluvias. Esto indudablemente fue sólo una pequeña parte de la tierra salpicada y depositada en la vegetación, porque la lluvia continúa lavando hacia abajo los materiales interceptados durante las tormentas. Naturalmente la cobertura que es lo suficientemente densa para impedir que las gotas de lluvia caigan en la tierra y la pongan en movimiento desde luego, evita eficazmente la transportación de la misma.

Podrían ejercerse otros controles mediante la modificación de las condiciones superficiales de la tierra. Por ejemplo, la formación de surcos paralelos estrechamente espaciados a ángulo recto al declive, podría impedir el movimiento hacia abajo de la tierra salpicada en un campo desnudo. En esa forma el ángulo de impacto de las gotas individuales enviaría porciones aproximadamente iguales de salpicadura hacia arriba y hacia abajo, con relación al declive general.

El agua de desbordamiento es el segundo agente erosivo de la lluvia. Cuando la proporción de ésta excede a la capacidad de absorción de la tierra, el agua que no se absorbe al caer se mueve a través de la tierra en forma de flujo superficial, ganando energía a medida que corre hacia abajo del declive, desalojando y llevándose la tierra.

El agua de desbordamiento pone en movimiento la tierra mediante un proceso de frotamiento, y sus efectos se hacen evidentes principalmentes en la formación de riachuelos y zanjas.

La cantidad de movimiento de tierra causado por el flujo superficial, al igual que el causado por las gotas de lluvia, es el resultado de la energía del desbordamiento, de la susceptibilidad de la tierra para desprenderse y dejarse transportar por este agente, y de la resistencia o protección suministrada por la cobertura de plantas o estructuras artificiales.

La energía del flujo superficial se deriva de su movimiento hacia abajo del declive, y su velocidad y turbulencia son expresiones de esa energía. Por tanto, la capacidad de erosión del desbordamiento depende de la cantidad de agua de que se trate, del declive y de la configuración de la tierra sobre la cual se mueve.

El desbordamiento toma la forma de mantos de flujo o capas delgadas de agua esparcidas de modo más o menos uniforme sobre la superficie de la tierra, así como de flujo canalizado que se concentra en cursos definidos. La distribución de la energía y los tipos de erosión resultantes, son diferentes para las dos formas. La primera, unida a la acción de las gotas de lluvia, causa la erosión en capas. La acción concentrada de frotamiento del flujo canalizado causa la erosión en riachuelos y hondonadas.

EL FLUJO EN MANTOS actúa en las extensas áreas abiertas entre los riachuelos y hondonadas, que constituyen generalmente más del 95% de la superficie de la tierra. Sus efectos son graduales y a menudo sólo se notan cuando se ha removido la mayoría de la capa superficial. Los cambios de color o textura o la disminución del crecimiento de las plantas, son síntomas comunes de la erosión de capas.

Cuando se deposita en una superficie plana durante la lluvia una cantidad excesiva de agua, carece de energía cinética. A medida que el agua se mueve hacia abajo del declive aumenta su velocidad, de acuerdo con su profundidad o volumen y con el grado de caída vertical. La velocidad aumenta con la distancia del flujo o la longitud del declive, ya que cada incremento de longitud aumenta la cantidad de agua y su caída.

Esos mantos de agua sobre una superficie plana se mueven al principio en forma de flujo laminar sin turbulencia alguna. La energía presente en ellos es solamente la de su velocidad de translación, y rara vez es de consecuencias en el movimiento de la tierra. A medida que aumenta la profundidad del flujo, se forman turbulencias que se mueven hacia abajo. Su frecuencia aumenta a medida que aumentan la profundidad y la velocidad, hasta que todo el flujo se vuelve turbulento. Esa turbulencia va acompañada de grandes aumentos en la energía cinética y en la capacidad de erosión.



Sello superficial en una muestra de tierra de cosecha recién arada después de una aplicación de prueba de gotas de agua durante 20 minutos, con un aplicador de lluvia.

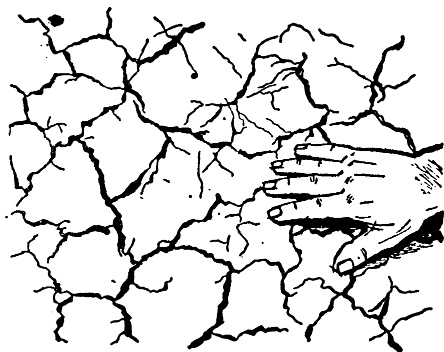
Las profundidades normales alcanzadas por los mantos de flujo bajo condiciones normales de campo son generalmente muy pequeñas. Las mediciones de los mantos de desbordamiento en proporciones de 1,25 a 3.68 pulgadas por hora en parcelas desnudas hasta de 20% de declive y 116.7 pies de longitud, mostraron profundidades de flujo que variaron de 0.06 a 0.15 de pulgada. Esto concuerda con otras profundidades calculadas para flujos superficiales a medida que llegan a las orillas de los canales. Al retardar el desbordamiento, la cobertura de hierbas o cosechas aumenta de 2 a 5 veces su profundidad. Aun así, los mantos de flujo fuera de los canales rara vez exceden de una fracción de pulgada de profundidad.

El impacto de la caída de las gotas de agua contribuye grandemente a la erosión en esos flujos poco profundos. La acción directa de las salpicaduras se reduce

en cantidades tan pequeñas como 0.1 de pulgada de agua, pero la energía de las gotas que caen se transfiere al flujo superficial en forma de turbulencia. Las grandes velocidades verticales del agua se dirigen hacia abajo para desprender la tierra y hacia arriba para sostener los materiales desprendidos. Bajo condiciones semejantes el manto de flujo puede arrastrar grandes cantidades de tierra, y especialmente los fragmentos más finos y los materiales orgánicos más ligeros y solubles, sin la suficiente velocidad horizontal para que tenga una gran significación erosiva. El movimiento de esa agua-lodos, aun en los declives más leves, removería grandes cantidades de tierra.

La energía inherente del flujo superficial es mayor en los declives más acentuados y aumenta hacia abajo en cada uno de ellos; pero la impartida por el impacto de las gotas de lluvia se distribuye uniformemente en sentido horizontal sobre la tierra, y debido a la acción combinada de las gotas de lluvia y de los mantos de desbordamiento, las tormentas pueden remover capas de tierra bastante uniformes en grandes áreas.

Se produce el flujo canalizado cuando las irregularidades de la superficie de la tierra hacen que el agua se concentre a lo largo de ciertas líneas de flujo, o cuando las obstrucciones crean turbulencias que aumentan la acción de frotamiento del desbordamiento. A medida que aumenta la cantidad de agua en los canales, aumentan también la velocidad y turbulencia. Los pequeños riachuelos se unen hacia abajo del declive para formar otros más grandes y el desbordamiento se concentra progresivamente en arroyuelos de gran violencia. En esa forma se concentran cantidades de energía de desbordamiento cada vez mayores, que actúan contra porciones cada vez más pequeñas de la superficie de la tierra.



La corteza superficial de la tierra desnuda después de la lluvia muestra cómo el impacto de las gotas de lluvia y el remojamiento forman una capa impermeable.

La acción de frotamiento del flujo concentrado excava riachuelos de unas cuantas pulgadas de ancho, que se borran con las operaciones de labranza. Los riachuelos crecen hacia abajo de los declives y forman canales más grandes, y a medida que continúa el proceso de apertura y transportación, esos arroyuelos se convierten en hondonadas demasiado anchas para que puedan cruzarse. No sólo se remueven y se llevan hacia abajo grandes cantidades de tierra desprendida de los lechos y paredes de los canales, sino que se altera el paisaje en sí y las operaciones agrícolas se dificultan o imposibilitan.

El flujo canalizado remueve la tierra por frotamiento a lo largo de su línea de movimiento, y debido a la mayor concentración de energía cinética, arrastra la tierra desprendida alimentada por los mantos de flujo y las salpicaduras de las lluvias. La formación de riachuelos y hondonadas en un campo, por lo tanto, acelera grandemente la remoción de la tierra en toda el área.

La disección de un declive por medio de canales, aunque sean pequeños, produce el efecto de disminuir la longitud del mismo en relación con los mantos de flujo. El movimiento sobre la tierra se inicia en la parte superior de cada declive o en la división entre dos riachuelos, y termina cuando el agua entra a un canal. A medida que cada nuevo canal se desarrolla, se divide en dos la distancia del flujo entre canales en esa parte del campo, reduciéndose así sus volúmenes y velocidades, y la energía total comprendida en el manto de flujo. Debido a las irregularidades naturales en la mayoría de las superficies de tierra, la canalización ocurre rápidamente en donde quiera que hay un desbordamiento abundante.

La erosión por frotamiento, como la de salpicadura, consiste de los dos pa-

sos diferentes de desprendimiento y transportación; pero la diferente distribución y dirección de la energía comprendida produce efectos distintos.

La energía del desbordamiento, que actúa paralelamente a la superficie de la tierra, es muy deficiente en la transportación de la misma, y todos los materiales desprendidos se mueven hacia abajo de los declives.

La acción de frotamiento del desbordamiento pone en movimiento la tierra sin consolidar su superficie, y como la mayor parte de la capacidad de desprendimiento del desbordamiento se encuentra en el flujo canalizado y los materiales desprendidos no abandonan esas corrientes, su acción de frotamiento ordinariamente enloda muy poco el agua sobre la superficie de la tierra. Por lo tanto, el flujo superficial rara vez disminuye la capacidad de infiltración obstruyendo las canalizaciones de la tierra como lo hace el efecto de las gotas de lluvia.

El DESPRENDIMIENTO ocasionado por el desbordamiento consiste en tres acciones diferentes: Rodamiento, levantamiento y rozamiento.

Cuando el agua que fluye se mueve a través de una superficie de tierra plana, las fuerzas horizontales actúan sobre las partículas en la dirección del flujo. Esas fuerzas pueden ser suficientes para desalojar partículas de la masa de tierra por rodamiento o sacándolas fuera de su posición. A esta acción se le llama desprendimiento por rodamiento.

Una superficie de tierra áspera contiene muchas pequeñas depresiones entre sus terrones y fragmentos. El agua que llena esas depresiones puede tener poca o ninguna velocidad horizontal, aunque la que se encuentra inmediatamente arriba fluja rápidamente. Esas diferentes velocidades producen diferencias de presión que causan corrientes y remolinos verticales. El movimiento hacia arriba del agua a través de las partículas de tierra las levanta de su lugar y las pone en movimiento, y a esto se llama desprendimiento por levantamiento.

El desprendimiento de la tierra por rozamiento, ocurre cuando las partículas que ya se encuentran en movimiento en el flujo golpean o se arrastran sobre las partículas de la superficie de la tierra, a las que ponen en movimiento. Esta forma de desprendimiento es peculiar de la acción de frotamiento causada por el desbordamiento y es responsable de gran parte de la erosión iniciada por aquél.

Por lo tanto, la capacidad de desprendimiento del flujo superficial varía con la energía cinética del mismo y la presencia de materiales ásperos en el agua. La energía presente es una función del volumen del flujo y de la velocidad y turbulencia, todos los cuales aumentan hacia abajo del declive y alcanzan sus mayores proporciones en el flujo canalizado. La energía impartida a un manto de flujo poco profundo por el impacto de las gotas de lluvia, aumenta su capacidad para desprender la tierra.

La profundidad es también un factor en la capacidad de movimiento de tierra de los flujos poco profundos. A profundidades que estén en condiciones de campo al principio del proceso de erosión, ocurre el mayor movimiento de tierra cuando la profundidad de flujo es aproximadamente igual al diámetro de las partículas de tierra que tienen que moverse.

La acción de rozamiento del desbordamiento depende de las cantidades de materiales en suspensión en el flujo y de la aspereza de ellos. La cantidad de desprendimiento de tierra por un flujo de energía constante puede variar si cambia la cantidad o clase de materiales ásperos que se encuentren en el mismo.

LA TRANSPORTACIÓN de los materiales desprendidos de la tierra es el resultado principal del desbordamiento en el proceso total de erosión.

La cantidad de materiales transportados y la distancia de los puntos de desprendimiento a los lugares donde se depositan son consideraciones importantes. La cantidad de tierra que pasa del lindero inferior de una parcela experimental o de un campo, es una medida significativa de la tierra "perdida" en esa área, pero no constituye una medida de la cantidad de transportación de tierra producida por el desbordamiento.

El flujo superficial mueve la tierra por

arrastramiento superficial, por palpitación y por suspensión.

Las mismas fuerzas horizontales que desalojan las partículas por rodamiento o arrastramiento, pueden conservarlas en movimiento rodándolas o resbalándolas en contacto con la superficie de la tierra o lecho de los arroyos. Ese movimiento se conoce con el nombre de arrastramiento superficial.

El movimiento por palpitación ocurre cuando las fuerzas desiguales de turbulencia levantan los materiales desprendidos del lecho y los mueven por pasos o saltos sucesivos. A medida que las partículas se elevan hasta el flujo superior más rápido, adquieren una velocidad que las hace desalojar otras partículas o rebotar de nuevo al flujo después de pegar en el lecho. En esa forma ocurre un continuo movimiento hacia abajo, ya sea de las mismas partículas o de otras diferentes, mediante una sucesión de pasos cortos o saltos.

La transportación por suspensión ocurre cuando las velocidades ascendentes de la turbulencia del flujo exceden de las de depósito de los materiales desprendidos. Las partículas levantadas dentro de la corriente del flujo pueden recibir impulsos repetidos de esa turbulencia y pueden moverse grandes distancias antes de que vuelvan al lecho.

La cantidad de tierra transportada en cualquier situación es el producto de la capacidad de transportación del desbordamiento y de la transportabilidad de la tierra, modificadas por el efecto retardatario de la vegetación o de las obstrucciones mecánicas.

La cantidad, velocidad y turbulencia del flujo superficial rigen su capacidad de transportación, así como la de desprendimiento. Como la velocidad aumenta a medida que la misma cantidad de agua queda más y más confinada, los materiales de la tierra que llegan a las hondonadas y arroyos pueden moverse a grandes distancias antes de que sean detenidos por las obstrucciones, o de que se depositen debido a los efectos calmantes de los menores gradientes del lecho o por la restricción de las aguas.

La transportabilidad de los materiales desprendidos influye en la distancia a que pueden ser arrastrados por la energía que se encuentra presente en un flujo dado. Las mismas propiedades que hacen a una tierra fácilmente desprendible, no la hacen necesariamente fácil de transportar, y de hecho frecuentemente ocurre una situación inversa. Este factor se relaciona con las proporciones de precipitación de las partículas en suspensión y se considera como resultado de su tamaño, densidad y forma.

El tamaño de una partícula afecta su peso total o masa, y en consecuencia, la cantidad de energía necesaria para mantenerla en movimiento. Su área seccional rige también su grado de contacto con el fluido que la sostiene y la resistencia que ofrece a su depósito. La densidad afecta la proporción de depósito y, por tanto, la distancia a la que puede flotar una partícula cada vez que se mueve por las salpicaduras o se arrastra en suspensión.

La forma tiene también una influencia directa. Las esferas poseen la mayor velocidad de depósito a tamaño y densidades iguales y, por lo tanto, la capacidad de transportación más baja. La angularidad y la falta de redondez aumentan la resistencia al depósito. En general, mientras una partícula se aparta más de la forma esférica, permanecerá mayor tiempo en suspensión. Cuando las partículas son tan grandes y densas que se transportan por el procedimiento de rodamiento, las aristas salientes y las superficies anchas y planas les impiden moverse tan fácilmente como las redondas.

La cobertura de plantas protege la tierra contra la acción de rozamiento del desbordamiento al ofrecer cierta resistencia al agua en movimiento y al resguardar la tierra contra sus efectos. Sin embargo, debido a la dirección horizontal más bien que vertical de la fuerza erosiva del desbordamiento, las diferentes propiedades de la vegetación actúan para contrarrestar el desbordamiento y para evitar las salpicaduras.

Para oponerse al flujo del agua, las partes de las plantas deben quedar sumergidas a toda la profundidad del flujo, y para ofrecer la resistencia máxima, necesitan quedar perpendiculares a su línea de movimiento. Un pabellón de follaje

a unas cuantas pulgadas sobre la superficie, que podría ser altamente eficaz para interceptar las gotas de lluvia, casi no tiene valor alguno para impedir el desbordamiento. Un gran número de tallos finos espaciados a corta distancia proporciona la mayor protección.

No es cierto que la vegetación encorvada y completamente sumergida en el agua que fluye, se adhiera a la superficie de la tierra y forme una capa protectora. Las observaciones hechas a través de las paredes de vidrio de los canales experimentales forrados con diferentes cubiertas de plantas, han demostrado que la vegetación queda vertical en el flujo ondulando lentamente de un lado a otro. Su efecto principal consiste en disminuir la velocidad del flujo cerca de la superficie de la tierra, y se obtiene una mayor disminución mediante un plantío denso, alto y uniforme de vegetación que produzca terrones. Los tallos tiesos que no se doblan ayudan a hacer más lento el flujo.

La cobertura para el control del desbordamiento necesita estar anclada a la tierra, característica que no es de importancia para controlar la salpicadura. Por lo tanto, la vegetación en crecimiento, o vertical, es superior a la mayor parte de las cubiertas o forros que podrían flotar y ser arrastrados por el desbordamiento.

La lluvia y el desbordamiento forman un conjunto de agentes erosivos que son más eficientes y destructores cuando trabajan conjuntamente. Hemos visto cómo la lluvia tiene más importancia en el desprendimiento de la tierra y el desbordamiento para su transportación, aunque cada uno de ellos contribuye a la acción del otro hasta cierto punto.

Cualquiera de los dos pasos integrales de desprendimiento y transportación que se efectúe en proporción menor, limitará el total de la erosión, y los daños resultantes a la tierra, y la ocurrencia de ambos, crea los mayores riesgos.

Un ejemplo único de la acción del desbordamiento en ausencia de las gotas de lluvia es la erosión causada por la fusión de las nieves. Ocurre a veces una seria canalización de los declives más pronunciados cuando la rápida fusión libera el agua más pronto de lo que puede ser absorbida por la tierra. La tendencia del flujo superficial a concentrarse en canales, lo que hace que la acción de rozamiento se confine a las líneas de flujo sin ayuda de las gotas de lluvia, se ve claramente en los patrones característicos de erosión que son resultado de la fusión de las nieves.

Cuando la tierra se encuentra congelada debajo de la capa superficial de deshielo, las primeras pulgadas superiores de ella pueden quedar tan saturadas de agua que ésta se mueva hacia abajo del declive en forma de flujo lodoso. Esta forma de erosión se debe a la fuerza de gravedad, independientemente de la energía del agua en movimiento, y se relaciona con otras formas de arrastramiento en los declives pronunciados, con la caída de las paredes de las hondonadas y con movimientos semejantes de masas de tierra bajo la acción de la gravedad.

El depósito es el fin del proceso de erosión. Las partículas en movimiento se inmovilizan cuando se agota la energía cinética de las salpicaduras de las gotas de lluvia o del desbordamiento, o cuando la vegetación o las obstrucciones mecánicas se oponen a las fuerzas erosivas.

Debido a la corta distancia a que se mueven las partículas individuales en la erosión por salpicadura, la distribución del material depositado concuerda estrechamente con las actividades de erosión de cada tormenta. Los depósitos causados por la acción de las gotas de lluvia sólo tienen importancia debido al efecto acumulativo de la migración hacia abajo de los declives de las partículas sujetas a repetidas salpicaduras.

Sin embargo, el depósito de desechos de erosión en lugares indeseables constituye uno de los mayores daños causados por la erosión por desbordamiento. Las tierras fértiles que se encuentran hacia abajo de los declives de las tierras altas y en las cuencas inferiores, quedan a menudo cubiertas con fragmentos de materiales menos productivos, arrastrados por el desbordamiento. Las cosechas y las pasturas se dañan con la tierra depositada en ellas por las aguas de las inundaciones, y la sedimentación obstruye los

arroyos y disminuye la capacidad de almacenamiento de las presas y depósitos.

Por lo tanto, la erosión acelerada es doblemente destructora, ya que daña la tierra tanto en el punto de remoción como en el de depósito. Los resultados benéficos de los depósitos, tales como la producción de tierras de aluvión, son generalmente consecuencia de un lento trabajo de erosión geológica normal y no de los procedimientos violentos que hacen posibles los disturbios causados por el hombre en las coberturas protectoras naturales.

SE OBTIENE la protección contra la erosión mediante la resistencia de la vegetación o de las estructuras mecánicas a las energías de las lluvias y del desbordamiento. Esas medidas de protección resultan más eficaces cuando retrasan el elemento erosivo, que es ya limitado en cada caso.

Como el desprendimiento precede a la transportación, puede impedirse todo el proceso erosivo mediante la prevención de ese acontecimiento inicial. Puede obtenerse una cobertura de vegetación, a fin de alcanzar este efecto en tierras que sean de valor para la agricultura.

Se han usado estructuras mecánicas artificiales para disminuir o controlar los efectos del desbordamiento. Esas estructuras incluyen terrazas de campo, varias formas de represas y divergencias, así como las operaciones de labranza del contorno de la tierra que dejan bordos y surcos a ángulo recto con la dirección del flujo.

Todas esas medidas sirven primordialmente para disminuir la velocidad del desbordamiento, reduciendo así tanto su capacidad de desprendimiento como de transportación. Dependiendo del grado en que detengan ciertas partes del desbordamiento y den más tiempo para su infiltración a medida que pasa sobre la tierra, esas medidas disminuirán también la cantidad de agua del flujo superficial, y limitarán, por lo tanto, el trabajo que pueda efectuar ese agente erosivo; pero no disminuirán directamente la actividad de las gotas de lluvia.

En aquellos casos de campo en que el desbordamiento esté produciendo la mayor parte de la erosión y sea el factor limitativo del movimiento de la tierra, esas medidas disminuirán eficazmente la pérdida total de tierra. Por otra parte, si la acción de las gotas de lluvia constituye el factor crítico, el disminuir la velocidad del desbordamiento no evitará los daños de la erosión.

Las obstrucciones mecánicas del desbordamiento pueden disminuir o evitar el movimiento de la tierra más allá de los límites de un campo, sin disminuir considerablemente el movimiento total de tierra dentro del mismo. En tierras de alto desprendimiento durante las lluvias con la fuerza suficiente para abastecer el desbordamiento al límite de su capacidad de transportación, esas estructuras servirán de poco para estorbar la actividad total de erosión. Aunque cada terraza interrumpa el flujo y haga que se precipite la carga de tierra, el desbordamiento que se origine en los espacios inferiores puede transportar un nuevo cargamento de tierra desprendida. Pueden verse los resultados en la formación de bordos en las terrazas de tierras que no están protegidas también con una cobertura adecuada.

En la mayoría de las situaciones de campo se necesita una combinación de medios mecánicos y de cobertura de plantas diseñada para afrontar la combinación peculiar de factores de erosión que operen en esa área especial de tierra, a fin de obtener un control eficaz.

BEN OSBORN *es conservador de unidades de trabajo de los Servicios de Conservación de Tierras en Midland, Texas. Ha efectuado evaluaciones de campo sobre la eficacia de la cobertura de plantas para evitar la erosión de la tierra y ha sido miembro del personal de los citados Servicios desde 1935.*

Los valles y las colinas, la erosión y la sedimentación

L. C. Gottschalk y Víctor H. Jones

LA EROSIÓN es el proceso natural que ha esculpido muchos de los rasgos de nuestro paisaje. Las fuerzas de la naturaleza, incluyendo el agua, el hielo, el viento

y la gravedad, trabajan constantemente para desgastar las tierras altas y rellenar las bajas.

La erosión ha ocurrido a través de toda la historia geológica. Se han desgastado grandes sistemas de montañas y queda poca evidencia de su existencia, a excepción de los depósitos consolidados y estratificados que encontramos en las rocas sedimentarias.

Charles Butts, que terminó un estudio sobre la geología de Virginia en 1940, cree que se depositaron aproximadamente 60,000 millas cúbicas de lodo, arena y grava durante la Era Paleozoica de las edades geológicas en la geosinclinal que constituye el Valle Apalache de Virginia. En ciertos sitios ese depósito tiene de 8 a 10 millas de profundidad, y si se extendiera sobre el área de Virginia, al sudeste de las Montañas Azules de donde probablemente se deriva gran parte de él, elevaría la altura del Estado a 10,000 pies sobre el nivel del mar.

Algunas formas de erosión geológica son tan espectaculares que producen hondonadas tan admirables como el Gran Cañón del Colorado, o restos tales como las torres coloreadas de los Cañones de Bryce y Zion. Cualquiera que los vea no puede dudar de la enorme fuerza del agua sin control alguno para esculpir la superficie de la tierra.

Otras formas de erosión ocurren tan lentamente que es difícil darse cuenta de ellas. Las extensas praderas, las colinas ondulantes y los valles con declives pronunciados pueden ser restos erosivos de tierras mucho más altas en épocas geológicas anteriores.

A la luz de la historia geológica, el hombre representa la cúspide del desarrollo biológico. Desde el retroceso del último glaciar continental en Norteamérica, que marcó el fin de la Era Pleistocena, el corto lapso de tiempo de 10,000 a 20,000 años ha abarcado la mayor parte de la historia de la humanidad. En los Estados Unidos de Norteamérica nos ocupamos principalmente de la ocupación por el hombre y de su influencia sobre la erosión durante los últimos 300 ó 400 años.

Los efectos del rápido crecimiento de nuestra población y de la intensa utilización de la tierra han sido profundos. Los procesos geológicos naturales de erosión se han acelerado en muchas regiones. Las tierras, que necesitaron muchos siglos para formarse, pueden desgastarse durante una sola tormenta debido al uso inadecuado de la tierra. El hombre puede ejercer cierto control sobre esa clase de erosión rápida.

Como la erosión puede ocurrir como resultado de un manto de flujo o del flujo confinado en una vertiente hidráulica, clasificamos y medimos los orígenes de sedimento de acuerdo con la erosión de mantos y la erosión de canales.

La proporción de erosión de mantos depende de la capacidad inherente de erosión de las tierras, de la longitud del declive, pendiente del mismo, uso de la tierra e intensidad, duración y frecuencia de las lluvias.

Las diversas tierras tienen diferentes grados de erosión inherente. La presencia de materia orgánica, cantidades de coloides y profundidad hasta un subsuelo menos permeable, afectan la capacidad inherente de erosión, la tendencia natural de la tierra a desmoronarse. Los resultados de las mediciones de parcelas demuestran que la erosión varía con la 1.35 potencia del grado de pendiente expresada en porcentajes, con la 0.35 potencia del largo de la pendiente expresada en pies y con la 1.75 potencia de la máxima lluvia anual de 30 minutos expresada en pulgadas.

Un análisis del efecto del uso de la tierra en la pérdida de la misma, efectuado en Pullman, Washington, indicó que la cobertura es uno de los elementos más importantes que influencia la cantidad de erosión y también que es uno de los más variables. Una parcela que pierde tierra a razón de 100 toneladas por acre en barbecho o en cultivos hacia arriba y abajo, podría perder solamente 10 toneladas si se plantara con granos pequeños, 2 toneladas si tuviera buenos pastos y menos de una tonelada si tuviera una buena cobertura boscosa.

Si aplicáramos los resultados de los estudios de parcelas a las condiciones existentes en los Estados Unidos de Norte-

américa, encontraríamos pérdidas de tierra hasta de 200 toneladas anuales por acre en campos en donde las cosechas entre cultivos se siembran en tierras altamente erosivas con largos y pronunciados declives. Esto equivale a más de una pulgada de tierra removida.

Las cifras de las mediciones de parcelas son útiles como base para delinear las principales áreas de erosión de manto en una vertiente hidráulica, y para seleccionar y localizar las medidas de tratamiento de la tierra destinadas a disminuir los daños causados corriente abajo, y debidos a los sedimentos precedentes a la erosión de mantos. Esas computaciones de erosión de mantos, ajustadas a las condiciones de las vertientes hidráulicas, proporcionan también un método seguro para establecer un criterio de diseño de sedimentación de las pequeñas presas o depósitos.

La erosión de canal produce obvias cicatrices. La cantidad de material removido de una vertiente hidráulica por la erosión de canal puede determinarse fácilmente midiendo los huecos de esos canales. La proporción de erosión de una hondonada puede determinarse midiendo el volumen de material removido y estableciendo la edad de la hondonada.

Puede determinarse en forma semejante la cantidad de erosión de los lados de los arroyos, trincheras de valles, zanjas de carreteras, rozamiento de llanuras fluviales y otros tipos. Las fotografías aéreas de gran parte del país, tomadas en 1938, 1939 y 1940, son de valor incalculable para determinar las proporciones de erosión de canal comparándolas con las actuales condiciones.

La relación de la erosión de mantos y de canales al total de erosión que ocurre en una vertiente hidráulica, varía de un lugar a otro, dependiendo de las condiciones locales. La mayor parte del sedimento en áreas agrícolas húmedas, se deriva generalmente de la erosión de mantos, y en regiones áridas y semiáridas se debe principalmente a la erosión de canales.

Se llama conjuntamente sedimentación, a la erosión, transportación y depósito de sedimentos. Los tres son de importancia para el control, utilización y conservación de nuestros recursos hidráulicos. La remoción de la capa superficial absorbente deja al descubierto el subsuelo menos permeable y hace que el agua del desbordamiento fluya rápidamente y agrave los problemas de inundación corriente abajo. La erosión de la capa superficial disminuye la fertilidad de la tierra y su capacidad para mantener una buena cubierta protectora. El agua de desbordamiento, abundantemente cargada de sedimentos, debe clarificarse mediante procedimientos especiales antes de que pueda usarse para fines domésticos e industriales. Los sedimentos depositados en las presas ocupan un espacio que es necesario para el almacenamiento de agua con fines tales como el control de inundaciones, generación de energía, riegos, consumo doméstico y fines recreativos.

Cuando se obstruyen con sedimentos los lechos de los arroyos, los flujos mayores de los normales se desbordan sobre las riberas y causan inundaciones. La sedimentación de los canales de riego y zanjas de desagüe disminuye su capacidad de movimiento de agua. Los canales navegables tienen que dragarse periódicamente, a fin de que los barcos puedan moverse sin encallar. La sedimentación afecta gravemente las obras de ingeniería hacia arriba de las corrientes, y a menos de que reciban un tratamiento adecuado al efectuar la planeación, desarrollo y utilización de los recursos hidráulicos, esos proyectos de ingeniería pueden perder su utilidad.

La transportación de sedimento se efectúa de dos maneras, como carga suspendida que se distribuye a través de toda la sección del flujo y como carga de lecho que se resbala, rueda y salta a lo largo de él.

Las arcillas y coloides generalmente se distribuyen de manera uniforme en toda la sección del flujo. Los sedimentos se distribuyen también a través de la sección en un flujo turbulento, pero normalmente tienden a aumentar en concentración de acuerdo con la profundidad del flujo. Las arenas gruesas, la grava, las piedrecillas y cantos generalmente se ruedan a lo largo del lecho, y en condiciones de gran velocidad y turbulencia

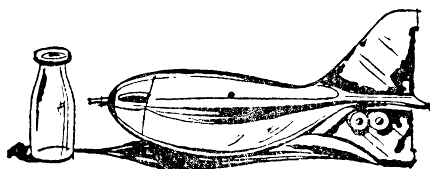
pueden quedar suspendidas en la carga arriba del lecho.

La naturaleza del material que se transporta queda grandemente influenciada por las fuentes de sedimento. La erosión de mantos remueve de la tierra la mayor parte de los materiales más finos. En aquellos lugares en que la erosión de mantos es la fuente principal de sedimento, el que se produce es de contextura fina y se mueve en forma de carga suspendida. A esos materiales se les llama carga de deslave de los arroyos. Las mediciones de las cargas de sedimento de los arroyos del medio Oeste muestran que a menudo el 90% del sedimento, o más, se transporta en forma de carga suspendida. En aquellos lugares en donde la erosión de canales es la principal fuente de sedimento, éste es de grano más grueso en su mayoría y se transporta principalmente en forma de carga de lecho.

La cantidad de carga de deslave que se mueve a través de la extensión de un arroyo se relaciona con la proporción de suministro más bien que con la capacidad del flujo para transportar esos materiales. La carga de deslave se mueve a la misma velocidad del flujo, y rara vez ocurre en cantidades iguales a la capacidad del mismo. Por lo tanto, la carga de deslave rara vez se deposita en los canales principales y tiene un papel secundario en su estabilidad.

Sin embargo, la cantidad y tipos de cargas de lecho que se mueven a través de la extensión de un arroyo se relacionan directamente con el flujo. Como el movimiento de la carga de lecho se encuentra siempre en equilibrio con las condiciones del flujo, tiene un efecto importante en la estabilidad de los canales. Si el flujo se sobrecarga con materiales del lecho, ocurre el depósito. Si la carga es menor de la que puede transportar el flujo, éste ataca inmediatamente las paredes de los canales en un esfuerzo para obtener el equilibrio. Cualquier género de condiciones que cambien la carga de sedimento o las características del flujo, tendrán un efecto correspondiente en la estabilidad de los canales, y, por lo tanto, pueda afectarse esa estabilidad cuando las presas u otras obras de control desazolvan el flujo o cambian sus características alterando la descarga, el gradiente del arroyo, la sección del flujo o su profundidad.

El sedimento en tránsito puede causar daños menores, asociados con el costo de remoción de arcillas y coloides de la suspensión y el efecto de rozamiento de las aguas cargadas de sedimento. Antes de que el agua pueda utilizarse para fines



Un muestreador indicador de profundidad, de carga suspendida. La botella de leche se coloca en el interior del muestreador y éste se sumerge en el flujo del arroyo por medio de un cable. Las aletas lo mantienen apuntando hacia arriba del arroyo. La muestra se toma en la botella a través de la tobera que sobresale del extremo anterior del mismo. La proporción a la que se llena la botella depende de la velocidad del arroyo.

domésticos o industriales, deben precipitarse o filtrarse las arcillas y coloides mediante el empleo de substancias químicas y procedimientos especiales. Algunas industrias, entre ellas la del rayón, necesitan agua que tenga cantidades excesivamente pequeñas de materiales en suspensión, y todas esas materias en suspensión deben removerse del agua para beber antes de que se considere como potable. El efecto de rozamiento de las aguas cargadas de sedimento causa los mayores perjuicios en los equipos generadores de energía hidroeléctrica, en los que produce un desgaste excesivo de las turbinas.

No todo el material de erosión de una vertiente hidráulica se mueve hacia afuera. La mayor parte queda en reposo en la parte baja de los declives y en las llanuras de desbordamiento, calculándose que sólo llega a los océanos menos de la cuarta parte de los materiales desprendidos por la erosión en la superficie terrestre de los Estados Unidos de Norteamérica.

La cantidad de sedimento transportado fuera de una vertiente hidráulica se conoce como rendimiento de sedimento. La proporción de ese rendimiento en rela-

ción con la erosión bruta, es la proporción de suministro. La proporción de suministro de una vertiente hidráulica depende de la extensión del área de desagüe, la cantidad y características del desbordamiento, la topografía de la vertiente, el grado de canalización y otros factores que determinan la capacidad del sistema de arroyos para recoger y transportar el sedimento.

La proporción de suministro de las grandes vertientes hidráulicas con declives poco acentuados y con pocos canales, es muy baja. Ordinariamente se mueve hacia afuera menos de la cuarta parte del material desprendido por la erosión en esas vertientes. A la inversa, la proporción de suministro de las vertientes hidráulicas pequeñas, con fuertes declives y abundantemente canalizadas, es muy elevada, pudiendo transportarse más de la mitad de los materiales desprendidos por la erosión en ese tipo de vertientes.

Los rendimientos de sedimento de las vertientes se aprecia con mediciones de las cargas de sedimento y con inspecciones de la sedimentación de las presas y depósitos.

Las mediciones de las cargas de sedimento consisten en la toma periódica de muestras del agua de desbordamiento para determinar la concentración de sedimento en el flujo, habiéndose diseñado instrumentos especiales para ese trabajo. La relación de la concentración a la descarga proporciona una medida de la carga, y como tanto la erosión como el desbordamiento se relacionan con la extensión y características de las lluvias en la vertiente hidráulica, las cargas de sedimento aumentan ordinariamente a medida que aumenta la descarga. Proyectando la carga de sedimento contra la descarga se puede desarrollar una curva proporcional de sedimentos para cada estación de medición. Con esas curvas puede calcularse el rendimiento de sedimento a largo plazo de una vertiente hidráulica, utilizando para ello las mediciones existentes de descarga a largo plazo. Este método se usa comúnmente para determinar el rendimiento de sedimentos de las grandes vertientes hidráulicas.

Pueden también determinarse los rendimientos de sedimentos a largo plazo en las vertientes, midiendo la acumulación de sedimentos en las presas cuya edad se conoce. Se ha diseñado equipo especial para determinar el grueso de los depósitos y la relación de volumen a peso del sedimento. Ese volumen de sedimento se mide empleando métodos hidrográficos normales, y el rendimiento se determina convirtiendo el volumen de sedimento en peso del mismo a base de la relación de volumen a peso de los depósitos. Como hay ciertas dificultades para obtener muestras representativas de la carga de sedimento en los desbordamientos repentinos en las pequeñas vertientes hidráulicas, las inspecciones de sedimentación de las presas proporcionan una forma adecuada para medir ese rendimiento de sedimento.

Debido a las muchas complejidades de las tierras, su topografía, utilización de la tierra, desbordamiento, canalización y otras condiciones que existen en las vertientes hidráulicas, los rendimientos de sedimentos varían grandemente. Cualquier persona que diseñe una presa para la utilización de los recursos hidráulicos debe conocer el rendimiento de sedimento de la vertiente hidráulica, a fin de proveer en forma adecuada a esa sedimentación en el diseño original. Si no se proporciona un almacenamiento adecuado para el sedimento, la presa puede azolvarse rápidamente y perder su utilidad mucho antes del término del periodo para el cual fue proyectada. Se necesita también un conocimiento del rendimiento de sedimentos de las vertientes hidráulicas para la planeación y diseño de canales navegables, puertos, canales de riego, zanjas de desagüe y otras obras de mejoramiento, a fin de obtener un diseño apropiado y poder predecir los costos de mantenimiento.

El desprendimiento de sedimento de una vertiente hidráulica depende principalmente de la extensión del área de desagüe. C. G. Holle calculó en 1952 que el rendimiento de sedimento de la vertiente del río Mississippi, arriba de su delta, era aproximadamente de 500 millones de toneladas anuales. Los estudios efectuados por el Cuerpo de Ingenieros indicaron que la carga promedia

de sedimento del Mississippi en el área del delta consiste, aproximadamente, de 7% de arena, 38% de cieno y 35% de arcilla. Los datos preliminares de los archivos del Servicio de Conservación de Tierras indican que los ríos de los Estados Unidos de Norteamérica transportan cada año, aproximadamente, un billón de toneladas de sedimento a los océanos.

La mejor forma de hacer una comparación entre las proporciones de movimiento de sedimento de las vertientes hidráulicas, es basándose en la proporción de producción de sedimento por unidad de desagüe. En promedio, la proporción de producción de sedimento por unidad de desagüe disminuye a medida que aumenta la extensión del área de desagüe. Se encuentran mayores variaciones en las proporciones de producción de sedimento en las pequeñas vertientes hidráulicas que en las mayores, porque en las primeras existen mayores contrastes en las condiciones de esas vertientes. La proporción de producción de sedimento para la cuenca del Mississippi llega, aproximadamente, a 400 toneladas por cada milla cuadrada de desagüe, y en una pequeña vertiente hidráulica de la cuenca del río Missouri, al oeste de Iowa, se obtuvo una proporción de 97,740 toneladas por milla cuadrada.

EL DEPÓSITO DE SEDIMENTOS es el complemento de la erosión y ocurre cuando la capacidad de transportación de flujo disminuye hasta un punto en que esa transportación se hace imposible. Las leyes básicas que se aplican a la erosión y a la transportación de sedimentos se aplican también al depósito de éstos.

Cuando el flujo disminuye, se depositan primero los sedimentos más gruesos y, por lo tanto, el depósito, como la erosión, es un proceso selectivo que resulta en una graduación de los depósitos. Los tipos principales de depósitos delineados en los trabajos en las vertientes incluyen depósitos de deslaves, abanicos de aluvión, depósitos en canales, depósitos en llanuras de desbordamiento, depósitos en lagos y presas, depósitos en estuarios y puertos, y depósitos en los océanos.

Los depósitos de deslaves se forman ordinariamente en la parte inferior de las tierras en declive que se han cultivado sin controles de conservación. El sitio puede encontrarse al pie de los declives de las tierras altas, en las orillas de los valles de aluvión o en las pendientes que van hacia abajo hasta las playas de los lagos u océanos. La forma típica de un depósito de deslaves es larga, angosta y sinuosa.

Primordialmente, los depósitos de deslaves se originan en los mantos de erosión que representan un tipo de depósito retrasado que sólo se ha movido a distancias cortas de los campos en donde se produjo la erosión y que se depositó cuando el flujo fue insuficiente para transportarlo más lejos. En muchos lugares se encuentran mezclados con materiales de los movimientos en masa hacia abajo de los declives. Los daños asociados a esos depósitos se deben principalmente a los cambios de contextura y fertilidad de las tierras, que afectan su productividad. Una gran parte del material desprendido de los campos por la erosión de mantos permanece en las vertientes hidráulicas en forma de depósitos de deslaves.

Los depósitos de abanicos de aluvión se forman ordinariamente en la parte baja de los arroyos tributarios de los valles principales o a lo largo de un frente montañoso en donde ocurren cambios repentinos en la capacidad de transportación de los flujos. Esos cambios se asocian generalmente con bruscos cambios en el gradiente de los arroyos tributarios o con el efecto de encharcamiento de los flujos de inundación en los valles principales. La parte principal del material de los abanicos de aluvión se origina ordinariamente en los canales tributarios y puede incluir sedimentos prácticamente de toda clase de contexturas, desde arcilla y cieno hasta grava gruesa. Los considerables daños que causan ocurren de varios modos, como resultado de la formación de los abanicos: La rapidez de los depósitos entierra las cosechas, el sedimento grueso rebaja la fertilidad de las áreas de depósito y los cambios topográficos en las llanuras de aluvión. Puede verse un ejemplo de esos cambios topográficos en los valles de las áreas de es-

parcimiento de los glaciares, lechos rojos y sitios arenosos en donde esos abanicos han caído en los valles y canales de los arroyos principales, cambiando sus cursos y aumentando la altura de los flujos.

Ordinariamente los canales de varios sistemas fluviales son de dos categorías, disgregacionales y agregacionales. En aquellos canales en que predominan las incisiones o cortes hacia abajo, el depósito de sedimentos de la erosión acelerada no constituye generalmente un problema serio, excepto en circunstancias locales. Algunos arroyos recientes de este tipo, especialmente los que ahora están produciendo cañones, no han desarrollado llanuras de desbordamiento de aluvión.

La mayoría de los arroyos que tienen valles de aluvión se encuentran en condiciones relativamente estables o están construyendo activamente llanuras de desbordamiento a las lentas proporciones geológicas normales. La sobrecarga de los arroyos con desechos procedentes de una erosión acelerada, los cambios en las características del desbordamiento y los meandros de los arroyos, son las causas principales del depósito en sus canales. El depósito de sedimentos ha causado serios problemas en muchos valles de aluvión y canales. Ese depósito en los canales de los arroyos los ha llenado total o parcialmente con sedimentos, y los resultados son más notorios en las áreas en las que se originan esos arroyos.

La consiguiente disminución de capacidad y aumento de altura de los canales ha producido cierto número de tipos de daños, un aumento en la altura de las crecientes y de las áreas inundadas, la elevación del nivel del agua del suelo y el consiguiente incremento de las áreas pantanosas, el bloqueo de las salidas de desagüe, la obstrucción del flujo del agua en los canales de riego y zanjas de desagüe, restricciones a la navegación, la disminución del valor de los arroyos como fuentes seguras de suministros de agua, y el daño o la destrucción de facilidades recreativas tales como la pesca y la natación.

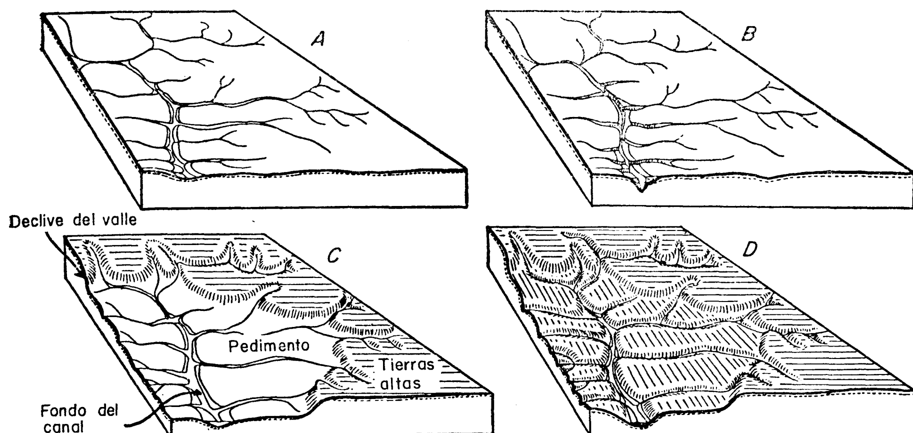
El depósito de sedimentos de una erosión acelerada ha ocurrido en las llanuras de desbordamiento de cientos de valles de arroyos en nuestro país, y es uno de los principales daños causados por la sedimentación en nuestras vertientes. Ocurren depósitos cuando los arroyos que transportan sedimentos se desbordan de sus canales y se extienden sobre las áreas adyacentes de llanuras de inundación. Los tipos de depósito en esas llanuras incluyen represas naturales, despliegues en las llanuras de inundación y anchos depósitos de acrecentamientos laterales. Esos depósitos entierran las cosechas, cambian las características y fertilidad de las tierras de las llanuras de inundación, e impiden el desagüe natural.

Los lagos son características más o menos temporales del paisaje y geológicamente tienen una vida relativamente corta. Todos los lagos, ya sean naturales o artificiales, están sujetos a depósitos que los llenarán con el tiempo. Los lagos artificiales o presas, constituyen un eslabón principal en el desarrollo de los recursos hidráulicos.

Las presas se diseñan para almacenar agua, a fin de que pueda usarse en los periodos de escaso flujo o para retrasar la proporción de ese flujo durante los periodos de desbordamiento anormal. En cualquier caso, la conservación de su capacidad de almacenamiento es vital para el éxito de su utilización y funcionamiento.

Como las presas disminuyen la capacidad de transportación del flujo prácticamente a cero, casi todo el sedimento que se transporta, cuando entra a una presa, se deposita en su cuenca. Las presas de pequeña capacidad que se construyen en arroyos que transportan grandes cargas de sedimento, pierden rápidamente su capacidad. Los daños relativos incluyen la depreciación de los valores de la propiedad, el costo de modificación de las plantas de energía o suministro de aguas y los daños a las facilidades recreativas.

El depósito de sedimentos en las bahías, estuarios y puertos es un proceso natural que se ha acelerado con nuestros actuales programas de utilización de la tierra. Muchos problemas se derivan del depósito de sedimentos transportados por los ríos en las bahías y puertos y a lo largo de las costas.



Cuatro pasos en la evolución de un paisaje pedimentado: *A,* es el emplazamiento del sistema de desagüe en el paisaje. *B,* es el sistema de desagüe que penetra en la tierra, y comienzan a desarrollarse los primeros tres elementos del paisaje, el fondo del canal, las pendientes del valle y la tierra alta. *C,* la pendiente del valle retrocede y se desarrolla el nivel inferior del pedimento cubierto por la línea de piedra y el pedisedimento. El paisaje se convierte en una superficie curva en forma de cucharón, que se vuelve cóncava hacia arriba en las orillas de la vertiente hidráulica. La remoción de la zona desgastada más vieja del pedimento, descubre el material progenitor fresco para un nuevo ciclo de formación de tierra. *D,* la penetración del segundo ciclo del sistema de desagüe. Las nuevas pendientes de los valles comienzan a retroceder de los fondos de los canales. Si las condiciones son favorables, el desgaste es continuo en la superficie original durante los cambios de *A* a *D,* y causa la formación de tierras profundas y bien desarrolladas.

El dragado necesario para la conservación de puertos y canales es muy costoso. Los depósitos alteran las características de las barreras costeras y ocasionan problemas de mantenimiento en las vías fluviales intracosteras. Se ha perjudicado la producción de ostras en aquellos lugares donde los depósitos han creado aguas lodosas o forzado hacia afuera el límite superior de las aguas saladas.

Los sedimentos depositados en las márgenes del océano a lo largo del continente, ocurren principalmente en la orilla de la plataforma continental sumergida. Con relación a la utilización de la tierra y a los depósitos de sedimento, el proceso principal que afecta la línea costera es el crecimiento de los deltas, como el del Río Mississippi. La formación de deltas en las zonas costeras de las áreas de la plataforma continental con declives suaves en la desembocadura de los ríos principales es un proceso característico. Los deltas, como los de los ríos Mississippi, Rhin, Nilo, Amazonas y Orinoco, han desempeñado un papel principal en la historia de la humanidad. La actual preocupación principal en relación con los problemas costeros y portuarios, consiste en conservar esas áreas de deltas para los valiosos y útiles fines que dependen de ellas.

El control de los ríos y puertos en las áreas de deltas ha ocasionado un cambio principal en su formación. Por ejemplo, la parte baja del río Mississippi se encuentra actualmente confinada entre represas que son casi continuas corriente abajo desde Cairo, Illinois. Las inundaciones que antes se propagaban extensamente sobre el área del delta abajo de Baton Rouge, quedan actualmente confinadas en su mayoría dentro de las represas. Por lo tanto, el actual crecimiento del delta es en el sentido de mayor longitud y menos anchura. La corriente dentro de las represas arrastra tanto el agua como el sedimento hasta más allá de New Orleans, y gran parte del área del delta que antiguamente recibía depósitos

periódicos de sedimento está retrocediendo a medida que esos sedimentos se consolidan.

Antes de que puedan dictarse medidas adecuadas para el control de los sedimentos es necesario determinar los orígenes, cantidades y naturaleza de los sedimentos perjudiciales. Por lo tanto, si los daños se deben principalmente a materiales finos que se originan en la erosión de mantos de una vertiente hidráulica, tenemos que llevar a cabo los tipos de tratamiento de las tierras que se recomiendan para la reducción de la erosión de mantos. Si el sedimento perjudicial consiste primordialmente de materiales gruesos y se origina en los canales, deben de tomarse medidas para la estabilización de éstos.

Las medidas necesarias para el control de la erosión de mantos están encaminadas primordialmente a proporcionar protección a la tierra contra el impacto de las gotas de lluvia, así como la disminución del desbordamiento rápido. El medio más eficaz e importante para disminuir la erosión de mantos es el uso adecuado de la tierra y el mejoramiento de su cobertura de vegetación. La tierra demasiado pendiente para su cultivo debe dedicarse a pasturas o a bosques. La tierra que no sea apropiada para la continua producción de cosechas de surco debe someterse a rotaciones con otras cosechas, tales como granos pequeños y hierbas de pradera para conservar su productividad y proporcionarle una cubierta protectora durante la mayor parte del tiempo.

Puede mejorarse la cubierta protectora de las tierras de pastos y bosques mediante la renovación de la vegetación y la debida utilización y cuidado. Pueden disminuirse las pérdidas por erosión en las tierras con fuertes declives reduciendo el largo real de las pendientes, lo que puede hacerse mediante cultivos de contorno y terrazas que intercepten el desbordamiento a intervalos regulares hacia abajo de la pendiente, evitando que se convierta en un flujo erosivo.

Los métodos para disminuir la erosión de canales se han preparado bajo la base de alterar la descarga, sección, profundidad de flujo, gradiente u otras condiciones que produzcan la erosión, o aceptando el flujo sin ninguna alteración y protegiendo debidamente los canales. No todos los problemas de erosión de canales pueden solucionarse fácilmente. Por ejemplo, la conformación y siembra de una vertiente hidráulica puede ser todo lo que se necesite para detener la erosión en una pequeña hondonada; pero puede requerirse una costosa estructura de admisión de caída para detener la erosión en una profunda barranca, por lo que es obvio que la economía puede determinar los límites de control que se justifiquen.

Una de las medidas para disminuir la erosión de canales consiste en la regulación de su flujo, lo que se hace por medio de depósitos de retención que almacenan los excesos de desbordamiento y los liberan lentamente hacia abajo de los canales. Puede hacerse un realineamiento, conformación y revestimiento de los canales si no puede controlarse la descarga, y si los daños justifican el costo. Los dinteles constituyen un buen método para estabilizar la pendiente de un canal y disminuir la degradación del lecho. La erosión de las paredes puede controlarse usando revestimientos o cambiando la dirección del flujo. Finalmente los canales pueden inundarse, disminuyéndose la erosión mediante depósitos colocados estratégicamente y estructuras de admisión de caída.

Si física o económicamente no es posible controlar los sedimentos en su origen, puede necesitarse la construcción de presas de sedimentación para disminuir los daños que se derivan de ella. Esas presas pueden diseñarse para atrapar cieno, tierra, arcilla y aun cantos grandes. Las presas se construyen a menudo para proporcionar un alivio temporal de los daños causados por la sedimentación, hasta que puedan instalarse y establecerse controles en sus orígenes. En muchos casos se requiere la excavación periódica de esas presas de sedimentación o tienen que construirse otras nuevas para proporcionar una protección a largo plazo.

Una forma de disminuir las cargas excesivas de los depósitos de sedimento en los canales consiste en diseñar éstos en tal forma que conserven en movimiento el sedimento. En muchos valles se han hecho

cambios en la alineación de los canales que comprenden la modificación de los meandros en un esfuerzo para evitar los depósitos excesivos.

Se han enderezado canales en cientos de valles de todos tamaños, pero en su mayoría los resultados han sido desfavorables. La excavación y enderezamiento de los meandros de los canales (muchos de los cuales contienen grandes depósitos de sedimento) han resultado ordinariamente en un gran aumento de la erosión en el arroyo, lo que a su vez ha significado un gran aumento en las incisiones corriente abajo, nuevas áreas de desgaste de las paredes y el hundimiento excesivo de la meseta de agua. Los métodos artificiales para para hacer más angosto un canal pueden aumentar la velocidad del flujo, pero implican complicadas estructuras de ingeniería. Otros medios mecánicos para el control de los arroyos y corrientes implican el uso de barreras o deflectores, principalmente en las curvas.

SE HAN MEDIDO los efectos de los programas relacionados con vertientes hidráulicas sobre sus rendimientos de sedimento en un gran número de ellas en los Estados Unidos de Norteamérica. En aquellos lugares donde se han tomado extensas medidas, el rendimiento de sedimento ha disminuido proporcionalmente.

Ha ocurrido un ejemplo de reducción en el rendimiento de sedimento en el lago Issaqueena, cerca de Clemson, South Carolina. La vertiente hidráulica de 14 millas cuadradas que se encuentra arriba de ese depósito, se halla en una sección de la meseta Piedmont que fue seriamente dañada por la erosión. Antes de las primeras inspecciones de sedimentación del lago Issaqueena en 1941, se habían tomado pocas medidas para el control de la erosión en la vertiente. Entre 1938, cuando se construyó una presa, y 1941, la proporción de producción de sedimento anual llegó a 2,400 toneladas por milla cuadrada. Entre 1941 y 1949, cuando se hizo una segunda inspección, la proporción de la vertiente, que estaba protegida en forma razonable contra la erosión, aumentó de 53 a 73%. La inspección de 1949 mostró que la proporción promedia de producción de sedimentación para ese segundo periodo había disminuido a 1,150 toneladas anuales por milla cuadrada, lo que equivale a una disminución en el suministro de sedimentos de más de 50% sobre la proporción obtenida para el primer periodo.

Otro estudio semejante en 1952 demostró que las medidas para el mejoramiento de la vertiente y el control de la erosión habían hecho posible una reducción de 33% en el suministro de sedimentos de la vertiente, que cubre 1,666 millas cuadradas arriba del lago Waco, cerca de Waco, Tex. Los resultados de las nuevas inspecciones de los depósitos por el personal de Servicio de Conservación de Tierras, mostraron una disminución de 78% en el rendimiento de sedimento de la vertiente, de 1.39 millas cuadradas arriba del lago Newman, en Georgia; una reducción de 27% de las 62.3 millas cuadradas arriba de la presa de High Point, en North Carolina, y una reducción de 43% en el rendimiento de sedimentos del área de desagüe de 7.29 millas cuadradas arriba de la presa de Roxboro, en North Carolina.

L. C. GOTTSCHALK, *graduado de la Universidad de Wisconsin, es geólogo de la División de Ingeniería del Servicio de Conservación de Tierras.*

VÍCTOR H. JONES *se doctoró en la Universidad de Iowa y es geólogo de la Unidad Técnica Central del Servicio de Conservación de Tierras en Beltsville, Maryland.*

La retención y la transmisión del agua en la tierra

L. A. Richards

LA TIERRA EN LA ZONA de raíces es un medio complejo. Sus propiedades físicas y químicas varían grandemente de una tierra a otra y de un punto a otro en el mismo perfil de la tierra. Sin embargo, si se enfoca la atención al hecho de que las propiedades físicas del agua son esencialmente las mismas en toda clase de tierras, se habrá progresado en la aplicación

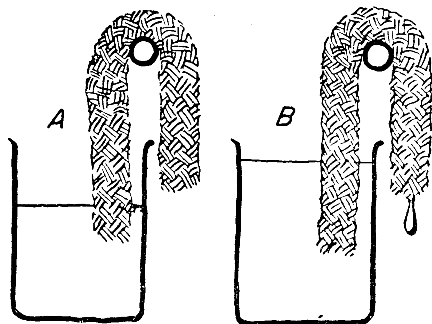
de las leyes de la hidrostática y en los principios de la dinámica de flujos viscosos. Las aplicaciones se hacen comúnmente en el agua del suelo cuando la tierra está saturada; pero en la zona de raíces, en donde la tierra no queda saturada, esas aplicaciones no se conocen o aprecian extensamente. Puede ilustrarse el caso de la hidrostática, la presión de equilibrio de los líquidos, con el siguiente implemento:

Mójese un trozo limpio de gasa de algodón en agua y fórmese con él un rollo poroso o mecha, aproximadamente de una pulgada de diámetro y 8 pulgadas de largo. Cuélguese el rollo o mecha sobre una varilla y póngase un recipiente con agua al mismo nivel del extremo libre del rollo, como lo muestra el dibujo adjunto. La acción de la tensión superficial hará que el agua del rollo quede rápidamente en equilibrio con el agua del recipiente. La presión aumenta con la profundidad abajo de la superficie libre y puede expresarse en términos de carga de presión, o sea la longitud de la columna vertical de agua requerida para producir la presión en un punto dado. En los sistemas estáticos de agua, todos los puntos que se encuentran al mismo nivel tienen la misma presión. La carga de presión a cualquier nivel en el recipiente es la diferencia de altura entre ese punto y el nivel de referencia en donde la presión es igual a la de la atmósfera. Cuando esa presión es mayor que la presión de referencia, se considera la carga de presión como positiva.

El agua del rollo quedará también en equilibrio estático con la superficie libre del agua. Todos los puntos que se encuentran a la misma altura sobre la superficie de referencia tendrán la misma presión, que será menor que la presión de referencia y, por tanto, será negativa. Esto corresponde a una carga de presión negativa, y tratándose de la tierra saturada es conveniente emplear el término "carga de succión" en lugar del término equivalente de carga de presión negativa.

El agua que se eleva en el rollo no está rodeada por todos lados por una superficie sólida, sino que existe una cara interna de aire y agua. Esto ocurrirá principalmente en la superficie exterior del rollo, pero a mayores alturas se extenderá también en forma complicada a través de su interior. A cada altura la curvatura de la cara interna se ajusta al valor requerido para suministrar la carga de succión correcta, según se determina por la distancia vertical a la superficie libre del agua. El agua que se añade al rollo se descargará rápidamente en el recipiente, restableciéndose la previa relación de curvatura estática. Si el extremo libre del rollo de tela se encuentra solo ligeramente arriba de la superficie plana del agua en el recipiente, puede observarse que la cara interna de aire y agua en el extremo del rollo es solo ligeramente cóncava. Puede verificarse el ajuste de la curvatura añadiendo una pequeña cantidad de agua al recipiente, de modo que el extremo libre del rollo quede abajo de la superficie libre del agua. A fin de restablecer el equilibrio estático, esto requiere que la presión en el extremo libre del rollo sea positiva, lo que corresponde a una curvatura convexa en la cara interna de aire y agua, y en esas condiciones se formarán gotas que caerán del extremo libre del rollo; un ejemplo de la condición especial de límites hidráulicos que tiene importantes aplicaciones a las tierras. No ocurrirán flujos de agua libre hacia el exterior de la tierra cuando el agua se encuentra bajo succión. El agua no se moverá de la tierra a un tubo de desagüe ni goteará de un tiesto o lisímetro hasta que la succión se reduzca a cero.

El término "meseta de agua" empleado en los trabajos de tierras, se define



Los efectos de la tensión superficial en una mecha muestran el equilibrio hidrostático y el flujo viscoso en la tierra.

como la localización de puntos en el sistema de agua del suelo, en los cuales el agua se encuentra a la presión atmosférica. En el rollo, en condiciones estáticas, esto corresponde a la altura de la superficie libre plana, y la carga de succión en cada punto del rollo es apenas igual a la distancia vertical sobre la meseta de agua. Esto se aplica también a la tierra. Si no hay una meseta de agua, la carga de succión a equilibrio estático bajo la influencia de la gravedad, será igual en todos los puntos que estén a la misma altura, y entre puntos que se encuentren a diferentes alturas, la diferencia de la carga de succión será igual a la diferencia de altura.

En el caso del rollo, en donde el agua está goteando de su extremo libre, ya no existe la relación estática entre la carga de succión y la altura sobre la superficie libre del agua. El sistema del rollo se convierte en un ejemplo de flujo viscoso en un medio poroso no saturado.

La gravedad y la fuerza asociada a un gradiente de presión son las dos fuerzas que determinan el flujo de agua en la tierra, ya sea que esté saturada o no. La gravedad está siempre presente y actúa hacia abajo. La fuerza de presión puede actuar en cualquier dirección y su magnitud puede expresarse con relación a la gravedad, o sea 1 g. La fuerza de presión, tanto en dirección como en magnitud, puede expresarse en términos del gradiente de la carga de presión o carga de succión. Esto es el cambio de carga por unidad de distancia a través de la tierra en el sentido de la mayor proporción de cambio. La fuerza actúa en dirección de la disminución de presión o de aumento de succión, y cuando se expresa en relación con la gravedad, es numéricamente igual al cambio de carga por unidad de distancia a través de la tierra.

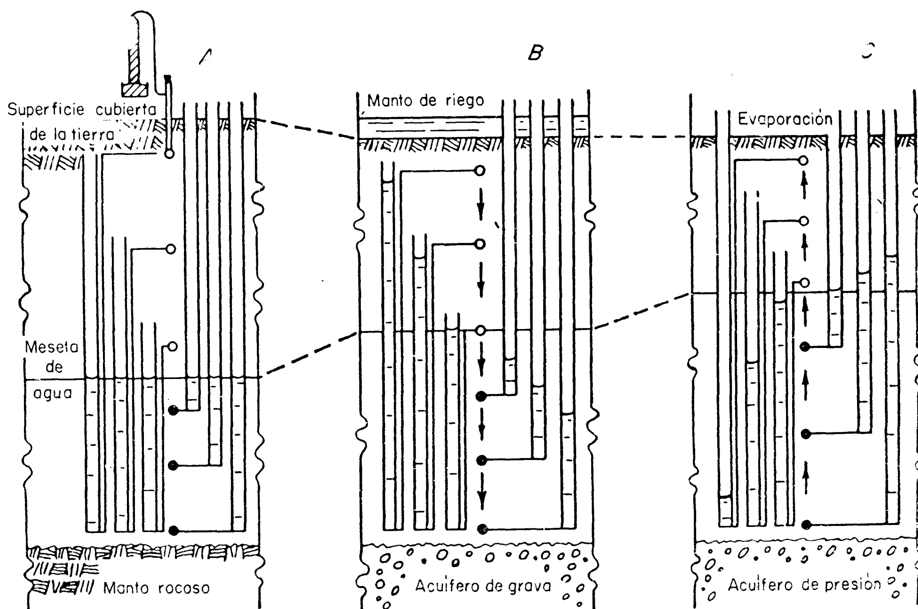
La condición para que exista el equilibrio estático es que la fuerza del gradiente de presión debe igualar y oponerse a la de la gravedad en forma tal que la fuerza motora neta sea cero. Volviendo al ejemplo del rollo en equilibrio estático, la presión es la misma en todos los puntos que se encuentran al mismo nivel, así que no hay ningún componente del gradiente de presión en dirección horizontal. En sentido vertical y bajo la superficie libre del agua, la carga de presión aumenta en una unidad por cada unidad de cambio de distancia en dirección vertical.

Por lo tanto, debido al gradiente de presión, existe una fuerza ascendente del agua de 1 g. Igualmente, en la parte del rollo que se encuentra arriba de la superficie libre del agua, la carga de succión aumenta una unidad por cada unidad de elevación vertical en el mismo. Aquí hay también una fuerza ascendente del agua de 1 g, que cancela el efecto de la gravedad. Esas condiciones se aplican igualmente al agua en la tierra. Cuando la fuerza del gradiente de presión es igual y opuesta a la fuerza de gravedad, las dos fuerzas motoras se compensan y se tienen las condiciones para el equilibrio estático.

PUEDE EXPRESARSE convenientemente la acción combinada de la presión y la gravedad para determinar el flujo de distribución del agua en la tierra, en términos del gradiente de una carga combinada que se llama carga hidráulica. Esta cantidad tiene un valor determinado en cada punto de un sistema relacionado de tierra y agua, y es muy útil porque puede medirse sin dificultad bajo condiciones reales de trabajo.

La carga hidráulica es la altura a la cual queda el agua en un tubo de manómetro o piezómerto conectado a un punto dado en la tierra. Como cualquiera otra altura, la carga hidráulica tiene la dimensión de longitud, y es la distancia vertical desde un dato normal que puede escogerse arbitrariamente, según convenga. El cambio de carga hidráulica por unidad de distancia a través de la tierra, indica la acción neta o combinada de las fuerzas de presión y altura para producir el movimiento del agua a través de la tierra. Los que tengan interés especial en las relaciones de tierra y agua pueden encontrar que vale la pena estudiar las condiciones hidráulicas que se ilustran en los diagramas adjuntos de tres perfiles de tierra.

EL PERFIL *A* de la izquierda representa el equilibrio estático en una tierra que



Relaciones de carga hidráulica en tres perfiles de tierra, que representan: *A,* equilibrio hidrostático. *B,* flujo hacia abajo. *D,* flujo hacia arriba.

contiene una meseta de agua. Debajo de la tierra hay una capa impermeable y la superficie está protegida contra la evaporación. Los círculos abiertos representan copas porosas de tensiómetro. La carga de succión en la copa porosa de estas unidades se lee ordinariamente en un manómetro de mercurio que se encuentra arriba de la tierra. Se ilustra una de esas unidades arriba del perfil. A la izquierda se muestra en forma de diagrama un manómetro de agua conectado a la misma copa. A equilibrio estático en este caso, como ocurría con el rollo, la carga de succión en la copa equivale a la distancia vertical hacia abajo hasta la meseta de agua, que es el nivel de la superficie de agua en el manómetro de agua equivalente. Se indica también la carga de succión en las otras dos copas porosas colocadas en la tierra arriba de la meseta de agua. Para estudiar la hidráulica de la tierra saturada, es decir, el agua del suelo que se encuentra bajo la meseta de agua, se insertan en la tierra pequeños tubos abiertos en su extremo hasta la profundidad en que se desea leer la carga hidráulica. Esos puntos terminales están representados por los círculos negros con líneas que los conectan a las correspondientes columnas de agua en los tubos de piezómetro. Es necesario escoger un nivel local de referencia para expresar cargas hidráulicas, y en el presente ejemplo se usará como dato la superficie de la tierra.

Refiriéndonos a la definición de carga hidráulica, podemos notar que en los seis puntos de una línea vertical, representados por los círculos, la carga hidráulica es igual en todos ellos, y es idéntica a la distancia vertical de la superficie de la tierra hacia abajo hasta la meseta de agua. Por lo tanto, parece que la definición de carga hidráulica se ha escogido para que la condición de equilibrio estático se exprese en forma sencilla, es decir, el equilibrio estático existe cuando el gradiente hidráulico es igual a cero.

El perfil *B* ilustra el movimiento hacia abajo del agua de riego en mantos hasta una meseta de agua, y de allí más abajo, hasta un acuífero permeable. De nuevo se indica aquí la carga hidráulica en seis puntos de una línea vertical en

el perfil. Se ve que la carga de succión en la copa superior es pequeña e igual a la distancia vertical de la taza hacia abajo hasta el nivel en que se mantiene el agua en el manómetro conectado. La carga de succión en la segunda copa es también pequeña y equivale igualmente a la distancia vertical de la segunda taza hacia abajo hasta la altura alcanzada por el agua en el segundo manómetro. La diferencia de carga hidráulica entre las dos copas, sin embargo, no es tan pequeña y se indica por la diferencia en los niveles de agua de los dos manómetros, mostrándose como igual a la distancia entre las copas, en tal forma que el gradiente hidráulico es hacia abajo y tiene un valor numérico igual a 1. Esto indica que en promedio entre estos dos puntos hay una fuerza motora real del agua igual a 1 g. En otras palabras, en ausencia de un gradiente de succión sólo actúa la gravedad.

La tercera copa porosa tiene una carga de succión igual a cero, o sea la condición para la meseta de agua, y, por lo tanto, ésta se dibuja al nivel de la tercera copa. El primer piezómetro indica una carga hidráulica en el primer círculo negro. Aunque este piezómetro termina abajo de la meseta de agua, no indica la verdadera localización de la misma, como en el caso del perfil *A,* y se nota que existe un gradiente hidráulico en el intervalo entre la meseta de agua y el extremo inferior del primer piezómetro. La carga hidráulica es mayor al nivel de la meseta de agua que en el extremo inferior del primer piezómetro, lo que indica un gradiente hidráulico hacia abajo y un movimiento del agua hacia abajo a través de la tierra. Se indica una condición semejante para los intervalos de tierra entre los sucesivos pares más bajos de piezómetros, lo que explica por qué los piezómetros que terminan abajo de la meseta de agua a diferentes profundidades pueden indicar cargas hidráulicas y condiciones de gradientes hidráulicos, y pueden usarse, por lo tanto, para indicar la dirección de movimiento del agua del suelo.

El tercer perfil, *C,* muestra el caso en que el agua del suelo se mueve hacia arriba desde un acuífero artesiano inferior que contiene agua bajo presión. Esta situación es muy común en valles de riego y causa molestos problemas de desagüe. Se nota aquí que la carga de succión es muy elevada en la tierra superficial y el gradiente de succión es mayor de lo necesario para compensar la gravedad, así que hay una fuerza real que hace que el agua se mueva hacia arriba. Evidentemente la meseta de agua queda entre el tercer tensiómetro, en donde es apreciable la carga de succión, y el primer piezómetro, en donde se puede apreciar la carga de presión. Sería difícil de calcular, por medio de cualquiera de estas medidas, la posición exacta de la meseta de agua, porque esto depende de la naturaleza de la tierra. En este dibujo los piezómetros, que miden la carga hidráulica a tres alturas diferentes en una línea vertical bajo la meseta de agua, indican que la carga hidráulica disminuye hacia arriba, lo que demuestra la fuerza ascensional del agua y su flujo hacia arriba.

La velocidad de movimiento del agua a través de la tierra es proporcional a su fuerza motora y se expresa por la ecuación $v = Ki$. El símbolo v significa el volumen del movimiento de agua en unidades de área a ángulo recto con el flujo en unidades de tiempo, e i representa el gradiente hidráulico. Al factor de proporcionalidad K de esta ecuación se le llama conductibilidad hidráulica, y en las tierras no saturadas puede llamársele conductibilidad capilar. Tiene la dimensión de velocidad y puede expresarse en cualquier unidad de velocidad conveniente. Como es la razón v/i, es el valor calculado de la velocidad de flujo para una fuerza motora neta de 1 g.

Puede ilustrarse la aplicación de estos principios hidráulicos con las medidas tomadas en una parcela de campo de tierra de marga arenosa de Pachappa, en el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica. Se tomaron lecturas con un tensiómetro de celda múltiple que tenía copas porosas cilíndricas montadas en un tubo de plástico a intervalos de 10 centímetros y a una profundidad de 10 a 50 centímetros. El instrumento se colocó en un solo agujero hecho por un tubo, a fin de que el perfil

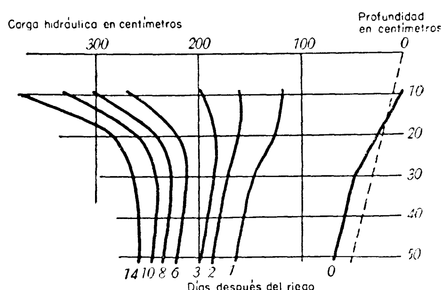
de la tierra no se alterara substancialmente. Las curvas muestran la distribución de los valores de la carga hidráulica de acuerdo con la profundidad, después de un riego efectuado el 24 de julio de 1953. Los números de la parte inferior de las curvas indican el tiempo transcurrido en días después del riego. Se tomó la superficie de la tierra como punto de referencia, así que los valores de carga hidráulica son negativos y se proyectan en el tercer cuadrante.

Los valores de carga hidráulica leídos en la escala superior dan la profundidad bajo la superficie de la tierra a la que se estabilizaría el agua en un manómetro de agua equivalente, conectado a la copa porosa en la profundidad indicada en la escala de la derecha. La línea de puntos de la derecha indica la pendiente por unidad de gradiente hidráulica. La curva de tiempo cero indica la distribución de carga hidráulica en profundidad hacia el fin del periodo de infiltración, cuando la proporción de entrada del agua de riego, medida en un cilindro de un metro dentro de la parcela de 3 metros cuadrados, era de 2.6 centímetros por hora. La curva que muestra las variaciones de los valores de carga hidráulica con la profundidad en este periodo de tiempo, indica que el gradiente hidráulico era constante en el intervalo de 10 a 30 centímetros de profundidad e igual a 2.3. Esta proporción $v/i = 2.6/2.3$, corresponde a un valor de conductibilidad hidráulica de 1.1 centímetros por hora. El gradiente hidráulico en el intervalo de profundidad de 30 a 50 centímetros fue la unidad, indicando que el movimiento hacia abajo se efectuó únicamente bajo la acción de la gravedad. La conductibilidad hidráulica promedia de la tierra en este intervalo fue, por lo tanto, $v/i = 2.6/1 = 2.6$ centímetros por hora.

Por definición, la carga de succión en cualquier copa a cualquier profundidad es igual a la carga hidráulica a la misma profundidad, menos la profundidad de la copa. La succión en cualquier copa se obtiene gráficamente restando la distancia horizontal entre la línea punteada de la derecha a la escala vertical de la derecha del valor de la carga hidráulica dado en la escala horizontal. En el intervalo de profundidad de 30 a 50 centímetros, durante el proceso de infiltración, la curva indica que la carga de succión fue constante e igual a 14 centímetros.

El cambio lateral de la curva de carga hidráulica después de un día corresponde a un aumento de la carga de succión de aproximadamente 100 centímetros en todas las profundidades, causado por la pérdida de agua del perfil por el desagüe hacia abajo. Un día después del riego el gradiente hidráulico es casi uniforme en toda la profundidad de las mediciones, y es igual a 1. El gradiente de succión es inapreciable y sólo la gravedad es la fuerza motora.

El encorvamiento de las partes superiores de las curvas de carga hidráulica hacia la izquierda, se debe a la evaporación del agua en la superficie de la tierra. El segundo día, un punto máximo en la curva de carga hidráulica indicado por el círculo grande, ocurre en el intervalo de profundidad de tierra de 10 a 20 centímetros. En el punto máximo el gradiente hidráulico es igual a cero. Esta es la situación de equilibrio estático bajo la acción de la gravedad, así que este punto máximo indica la presencia en la tierra de una zona estática arriba de la cual el movimiento del agua de la tierra es hacia arriba, y abajo de la cual el mismo movimiento es hacia abajo. Los círculos grandes en las curvas subsecuentes indican la proporción de disminución de la zona estática a través del perfil. Para el catorceavo día, la zona estática



Curvas que muestran los cambios de la carga hidráulica con la profundidad y tiempo después del riego de la cuenca en marga arenosa fina de Pachappa.

había descendido más abajo de la profundidad de 50 centímetros.

El patrón de cambio de la fuerza real motora del agua en el intervalo de profundidad de 10 a 20 centímetros, fue el siguiente: Durante la infiltración hubo una fuerza que movió el agua hacia abajo de 2.3 g. A la gravedad se combinó 1.3 g de fuerza de succión producida por la tierra de la parte inferior. Al segundo día el gradiente hidráulico promedio fue de cero, indicando que el gradiente de succión había cambiado de dirección y tenía un valor hacia arriba de 1 g., cancelando la fuerza de la gravedad hacia abajo. Para el catorceavo día había una fuerza real de 8.8 g. que movía el agua hacia arriba en el intervalo de 10 a 20 centímetros.

La succión y gradiente de succión dependen del contenido de agua de la tierra. Se dan tres curvas para ilustrar la naturaleza de esta dependencia. El contenido de humedad se expresa en profundidad del agua por 100 unidades de profundidad de la tierra. Esto es numéricamente igual al porcentaje del volumen de tierra ocupado por el agua. La succión se expresa en atmósferas. Una carga de succión de 1,034 centímetros corresponde a una atmósfera. Se obtuvieron esas curvas para muestras de tierra con estructura de campo. Las curvas dadas son curvas de liberación de humedad, ya que inicialmente las muestras estaban saturadas y se midió su contenido de humedad pesándolas después de que habían alcanzado un equilibrio hidráulico con la superficie de control, que consistió de una lámina de cerámica porosa o de una membrana de celofán.

Las curvas tienen significación considerable, tanto teórica como práctica.

El porcentaje de profundidad a una succión de cero indica la porosidad total de la tierra o el porcentaje del volumen total de tierra que se compone de espacios porosos conectados.

El equivalente de distribución del tamaño de poros de una tierra puede obtenerse de la curva de retención de humedad. La succión ejercida por un menisco de agua en un poro cilíndrico se relaciona con el diámetro del mismo. El volumen de agua liberado por una tierra en un determinado intervalo de succión, por lo tanto, es un índice del volumen total de espacio poroso en la gama equivalente de tamaños de poros correspondiente a la gama de succión. Puede verse que en tierra arenosa una carga aproximada de succión de 100 centímetros vaciará casi las tres cuartas partes del total del espacio poroso; pero esa misma succión en tierra arcillosa no causa prácticamente ningún cambio en su contenido de agua. Esto significa que cuando se aproxima al equilibrio del lado húmedo de una tierra arcillosa en el campo, la arcilla permanecerá saturada en 100 centímetros arriba de la meseta de agua. Las curvas de liberación de humedad, como las que se muestran, dan la distribución del agua en relación con la altura cuando las tierras se han desaguado hasta quedar en equilibrio estático con una meseta de agua.

El extremo de baja humedad de las curvas es significativo, porque se ha encontrado que el porcentaje de 15 atmósferas corresponde estrechamente al porcentaje permanente de marchitamiento. Los numerosos experimentos efectuados con las plantas muestran que ese contenido de humedad es el límite más bajo de la gama de humedad de la tierra que permite el crecimiento vegetativo de las plantas, y esta importante característica de la humedad de las tierras aparece directamente en la curva de retención.

El límite superior de la gama de humedad de campo en la que pueden crecer las plantas es menos definitivo que el límite inferior. Se han hecho grandes esfuerzos para encontrar un procedimiento satisfactorio de laboratorio para calcular ese límite superior, pero no se ha encontrado una cifra que sea satisfactoria para aplicarse a toda clase de tierras.

El contenido de agua de una muestra de tierra que se haya secado al aire, pasado por un tamiz, mojado y vuelto al equilibrio hidráulico con una placa de cerámica a una carga de succión de 100 centímetros, se aproxima mucho al contenido de agua de algunas tierras de contextura gruesa uno o dos días después de que se mojan. Por ejemplo, la curva que da la distribución de la carga hidráu-

lica un día después del riego de la marga arenosa de Pachappa, indica que la carga de succión es casi uniforme con la profundidad y es aproximadamente igual a 100 centímetros. Esta relación no se aplica, sin embargo, a la mayoría de las tierras de contextura media y fina.

El contenido de agua que se encuentre en las tierras después de que se mojan, dependerá de sus propiedades de retención y transmisión de agua y de las condiciones de los linderos hidráulicos que determinan la gradiente hidráulica. El clima, la cobertura de plantas y la extracción de agua por sus raíces, afectarán la carga hidráulica cerca de la superficie de la tierra. Las condiciones de los linderos hidráulicos en el frente húmedo y abajo de él, dependerán del contenido inicial de agua de la tierra y de sus propiedades de transmisión de la misma. El subsuelo húmedo limita el gradiente de succión hacia abajo y hace más lento el desagüe. Igualmente, una capa restrictiva o una brusca transición a una contextura muy gruesa, pueden actuar como una meseta de agua en su efecto sobre el gradiente hidráulico y el movimiento del agua hacia abajo. Es difícil duplicar las condiciones de linderos hidráulicos que existen en el campo en las determinaciones de laboratorio para la indicación del nivel superior de la gama de humedad de campo.

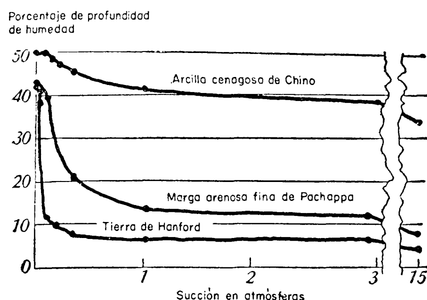
La curva de retención para la tierra arcillosa Chino, indica una diferencia de contenido de humedad de 16% a base de volumen, entre la saturación y el porcentaje de 15 atmósferas. La gama disponible para el crecimiento de plantas será mucho menos que eso. La marga arenosa fina de Pachappa tiene una gama de disponibilidad sumamente extendida que se acerca al 25%, pero la tierra de Hanford tiene solamente una gama de disponibilidad aproximada de 8%. Esto corresponde a una profundidad de 8 centímetros de agua libre por 100 centímetros de profundidad de tierra semejante a aquella en que se obtuvo la curva. La tierra queda definitivamente al margen de la agricultura normal de riego si la gama de disponibilidad baja hasta 8%. Se requieren riegos frecuentes para mantener las cosechas en buenas condiciones de crecimiento y las aplicaciones de agua deben ser ligeras para evitar pérdidas por deslave del agua y de las sustancias nutritivas.

Una de las características importantes que permiten que la tierra almacene agua para su utilización por las plantas es la gran disminución de la facilidad con que las tierras transmiten agua a medida que se secan. Esto se indica por el cambio de capilaridad conductora a una tensión creciente, y esa cantidad es el factor de proporcionalidad de la ecuación de flujo $v = Ki$, que se mencionó anteriormente, y representa la velocidad de flujo por unidad de gradiente hidráulico. En la marga arenosa fina de Pachappa, K es aproximadamente de 2 centímetros/hora a la saturación o a una carga de succión de cero. Esto se reduce de 0.2 centímetros/hora a 75 centímetros, 0.02 centímetros/hora a 120 centímetros y 0.002 centímetros/hora a 200 centímetros de carga de succión.

El volumen de profundidad de agua que volverá a la superficie y se perderá por evaporación en tierras de barbecho, como lo indican las curvas de carga hidráulica dadas previamente, puede calcularse de los constituyentes solubles del agua de riego. El 20 de julio de 1954 se regó con agua que contenía 44 mili-equivalentes por litro de cloruro de potasio, una parcela de marga arenosa fina de Pachappa. Las muestras tomadas un día después del riego contenían, aproximadamente, 40 mili-equivalentes por litro de cloruro en la solución de tierra, y esto ocurrió uniformemente con la profundidad. Las muestras tomadas un mes después indicaron que basándose en la transferencia de cloruro, se habían movido hacia arriba 2.9 centímetros de agua a la capa de 0 a 5 centímetros de la tierra. Añadiendo a esto 1.4 centímetros que representa el contenido neto de pérdida de agua de la capa de 0 a 5 centímetros, se obtiene un valor de 4.3 centímetros de agua como pérdida de evaporación de la superficie de la tierra durante el periodo de un mes después del riego. Esta cifra está de acuerdo con los muestreos de contenido de humedad de la tierra y también con los cálculos basados en las

mediciones de la conductibilidad capilar y del gradiente hidráulico.

Este experimento suministra también nueva información sobre la significación de la transferencia del vapor de agua dentro de este perfil de tierra durante un mes de clima cálido. Si el movimiento de agua dentro de la tierra se debiera únicamente a un flujo de líquido o película, no podría esperarse ningún cambio en la concentración de la solución de tierra. La evaporación dentro del perfil causaría un aumento en la concentración; sin embargo, y a la inversa, la condensación dentro del perfil causaría una disminución en la concentración de cloruro en la solución de tierra. No hubo evidencia de transferencia de vapor en el perfil de la tierra a una profundidad mayor de 10 centímetros en las mediciones de concentración de cloruro.



Curvas de retención mostrando los cambios en el contenido de agua en muestras de tierra a medida que la succión aumenta de cero a 15 atmósferas.

Hubo también una disminución aproximada de 10% en la concentración de cloruro en el intervalo de tierra de 5 a 10 centímetros. Esto pudo deberse a la condensación del vapor de agua que se difundió hacia abajo de la superficie más caliente, diluyendo esa condensación la solución de tierra. Sin embargo, el flujo hacia arriba de la película de agua, como resultado de la gradiente de succión, dominó en el proceso de transportación de agua en el intervalo de tierra de 5 a 10 centímetros y constituyó el mecanismo responsable del movimiento de sales hasta la superficie.

Durante un periodo de muchos años ha prevalecido la hipótesis de que la facilidad con que las plantas pueden absorber el agua de la tierra puede medirse directamente de la succión o de la carga de succión. Se ha examinado la evidencia que sostiene esa hipótesis en la monografía de la Sociedad Norteamericana de Agronomía, titulada *Las Condiciones Físicas de la Tierra y el Movimiento de las Plantas.* Se hace, desde luego, aparente la utilidad y significación de las curvas de retención de humedad en cuanto se relacionan a esta hipótesis.

En la discusión anterior, bajo el punto de vista de la hidráulica, se han omitido los factores que puedan complicarla, tales como la histéresis capilar, la temperatura y los efectos de los iones solubles e intercambiables en las propiedades hidráulicas de las tierras. Para muchos fines prácticos, sin embargo, este tratamiento simplificado ayudará a la comprensión y a la expresión cuantitativa de los fenómenos observados en relación con la retención y transmisión del agua en las tierras.

L. A. RICHARDS *se ha interesado en el aspecto científico del agua de la tierra desde sus primeros estudios en el Colegio de Agricultura del Estado de Utah. Se graduó como doctor en la Universidad de Cornell, en 1931, y ha efectuado investigaciones sobre física de tierras en el Colegio del Estado de Iowa, formando parte del personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica en Riverside, California, desde 1939.*

¿Qué cantidad de lluvia penetra en la tierra?

G. W. Musgrave

LO QUE REALMENTE cuenta en una lluvia es la cantidad de agua que penetra en la tierra.

La naturaleza de la tierra, sus condiciones, la naturaleza de las tormentas y la estación del año determinan la infiltración, o sea la cantidad de agua que penetra en la tierra.

Esa infiltración tiende a ser mayor en

los meses calientes que en los fríos, y existen en ella grandes diferencias entre las cosechas de surco, pasturas y campos de heno.

En la rama central del río Westfield, en Goss, Heights, Massachusetts, la cantidad promedia anual de absorción es de 19.6 pulgadas, o aproximadamente 43% de las lluvias anuales. En el río Rojo, en Fargo, North Dakota, es de 19.7 pulgadas, o aproximadamente 94% de las lluvias anuales. En el río Pearl, en Edinburg, Missouri, es casi el doble de esa cantidad, 38.8 pulgadas, o sea aproximadamente el 70% de las lluvias anuales. En algunas partes del Sudoeste el promedio anual de desbordamiento es menor de 0.01 de pulgada, pero en esa región escasean también las lluvias. Estas cifras proceden de vertientes hidráulicas relativamente grandes que tienen tierras y vegetación diferentes. No es fácil medir la infiltración con toda exactitud. Hay varios métodos disponibles, pero algunos no son muy seguros. En las grandes vertientes hidráulicas se acostumbra tomar la diferencia entre la precipitación pluvial y el desbordamiento como índice de absorción; pero esto no es rigurosamente exacto, porque esos cálculos incluyen la cantidad de lluvia que moja la vegetación y la superficie de la tierra y que llena las numerosas y pequeñas depresiones que se encuentran en cualquier localidad. Al final de una fuerte tormenta, sin embargo, después de que esas depresiones se han llenado y que toda el área ha quedado saturada, la diferencia entre la lluvia y el desbordamiento se aproxima mucho a la cifra de absorción.

En aquellos lugares en que se miden las proporciones de lluvia y de desbordamiento, se puede precisar la proporción de infiltración.

Las tempestades adecuadas para esas mediciones son poco comunes. La mayoría de las tormentas tienen altas y bajas intensidades de lluvia en tiempos y lugares diferentes en las grandes vertientes hidráulicas. Este método no se adapta muy bien para la comparación de tierras y vegetación, porque la mayoría de las vertientes hidráulicas tienen diferentes clases de ellas. A menos de que se usen varios medidores registradores en la vertiente, no podrá conocerse la cantidad real de lluvia que cae en cada una de sus partes.

Para solucionar algunas de estas dificultades se han diseñado equipos que producen lluvias artificiales en proporción uniforme y en grandes cantidades (ya que la cantidad debe comprobar realmente la capacidad de la tierra). El equipo puede moverse de una tierra o clase de vegetación a otras, probando así las diferentes condiciones que puedan existir en una misma vertiente.

El más comúnmente usado es el infiltrómetro de tipo F. Otra versión más pequeña, el infiltrómetro de tipo FA, tiene especial utilidad en aquellas localidades en donde es difícil transportar las mayores cantidades de agua que requiere el tipo F. Ambos proporcionan gotas de lluvia lo suficientemente grandes para que se aproximen al impacto superficial de la lluvia natural. La lluvia se aplica en proporción conocida, y se mide la proporción de desbordamiento, calculándose con esas cifras la absorción.

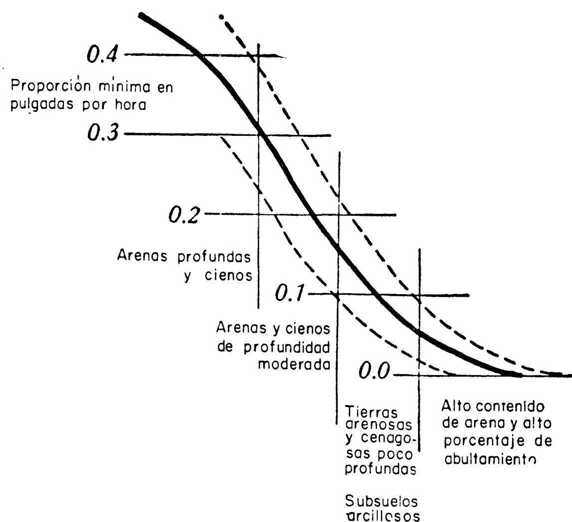
Se aplica el agua a dos de los tipos de infiltrómetros más comúnmente usados (el de tubos y el de anillos concéntricos), inundando la superficie de la tierra sin producir grandes disturbios en su estructura. Los tipos de inundación producen una infiltración constantemente mayor que los tipos de lluvia, pero las diferencias son menores con vegetación densa que con vegetación escasa.

Los diferentes tipos de infiltrómetros son útiles para determinar las diferencias relativas entre la absorción de diversas tierras y vegetación. A veces es necesario conocer las proporciones de absorción en áreas en que varían grandemente las facilidades para efectuar mediciones. En sitios en que las existencias de aguas son limitadas, se escoge ordinariamente uno de los infiltrómetros más pequeños, que sólo requieren una pequeña cantidad de agua. Si se necesitan mejores datos cuantitativos y las facilidades lo permiten, se usa ordinariamente el infiltrómetro más grande de tipo F.

Las comparaciones de los diferentes tipos de equipo funcionando lado a lado han demostrado que pueden obtenerse comparaciones relativas de tierras y ve-

getación con cualquiera de ellos. Esas comparaciones han demostrado también que las proporciones de absorción son mayores en los tipos que aplican el agua por inundación que en los que la aplican en forma de lluvia artificial; pero muestran también que no existe una relación sencilla entre los resultados de los diferentes tipos aplicados a tierras o vegetaciones diferentes, y que no hay una manera fácil de convertir los resultados de un tipo a valores equivalentes de otro. Evidentemente, la naturaleza de la tierra o de la vegetación se refleja en grados divergentes en las diversas técnicas empleadas para las mediciones de absorción. Esto no es sorprendente, porque no puede medirse todo el efecto protector que la vegetación ejerce durante las lluvias cuando se aplica el agua en forma de inundaciones. Sin embargo, todos estos métodos ocupan un lugar preciso en la evaluación de los factores que afectan la absorción, así como en la evaluación de las diferentes partes de una vertiente hidráulica.

Los valores relativos de absorción de una vertiente se obtienen mejor de la vertiente misma. En aquellas vertientes de las cuales tenemos buenos registros de proporción de lluvias y desbordamiento, una comparación tormenta por tormenta y hora por hora nos da resultados que reflejan las proporciones de absorción cuando la tierra está seca o húmeda, los cambios que ocurren con las estaciones o la baja hacia el fin de las tormentas. Estas proporciones de absorción de las vertientes quedan afectadas también por las proporciones de tierra y vegetación que ocurren en el área, y se necesitan varios años de registros para esas determinaciones, a fin de que se incluyan las grandes tormentas y que el efecto de las estaciones y de las condiciones de humedad quede representado en los registros.



La gama de proporciones de infiltración mínima en cosechas de surco en tierras húmedas. Se muestra la variación debida a tratamientos anteriores en la línea punteada arriba del promedio.

En las vertientes hidráulicas que no tienen registros de proporción de lluvias o desbordamientos y que sólo tienen totales de tormentas, éstos pueden usarse para determinar la proporción aproximada de absorción. La diferencia entre el total de lluvias y el desbordamiento, aunque incluya algunos otros factores, consiste en gran parte de infiltración. Cuando hay un gran número de registros puede calcularse el promedio como diferencia entre las lluvias y el desbordamiento dividida por el tiempo. A menudo existen esos registros, mientras que es difícil que existan otros que incluyan esas proporciones. Las proporciones promedias de absorción que se deriven del total de lluvias y desbordamientos, pueden ser

un elemento de gran utilidad en las evaluaciones de las vertientes hidráulicas.

En muchas de esas vertientes para las que rara vez se obtienen esos registros, es posible hacer un mapa de las tierras y clases de vegetación. La infiltración de las diferentes tierras que tengan varias clases de cobertura, es decir, un complejo de coberturas de tierra, puede calcularse para cada combinación, y cada uno de esos cálculos para las diversas áreas de la vertiente puede usarse entonces para calcular el "exceso de lluvias", y a su vez esos cálculos pueden combinarse para obtener el cálculo del desbordamiento de toda la vertiente. Los cálculos de desbordamiento pueden compararse con los sucesos registrados, y pueden ajustarse las discrepancias en los cálculos de infiltración para ciertos complejos de coberturas de tierra, a fin de que concuerden las cantidades reales observadas con los totales computados. Pueden aplicarse entonces esos cálculos de infiltración a las vertientes que presenten cambios en las condiciones superficiales, pudiendo apreciarse así la mejoría en las condiciones de desbordamiento y la cantidad de disminución de los daños consiguientes.

En aquellas vertientes de las que no hay ninguna información disponible sobre lluvias o desbordamientos, a veces es necesario calcular las proporciones y cantidades de infiltración por medio de otras fuentes. Se detalla aquí un método para lograrlo:

Cuando un complejo de coberturas de tierra dado queda completamente mojado por las lluvias previas, tiene una proporción mínima de absorción que es razonablemente constante y que reproduce esas condiciones. Se han determinado esas proporciones mínimas para las cosechas de surco durante los meses calientes en muchas clases de tierras, y puede usarse con otros datos para colocar los complejos de coberturas de tierra en un orden relativo dentro de la formación continua que representa la figura 1. La tabla representa la gama de los grupos importantes de tierra, cada uno de ellos con una cobertura mínima y previamente humedecidos, y después de una lluvia prolongada en exceso de la proporción de infiltración. Por lo tanto, son proporciones mínimas, típicas de la estación de crecimiento de la región, y no muestran lo que ocurre cuando las tierras están heladas. Las líneas interrumpidas a cada lado de la curva representan la gama normal del complejo de coberturas de tierra, que varía necesariamente con la profundidad de la tierra, la historia de sus labranzas y cultivos y su contenido de materia orgánica.

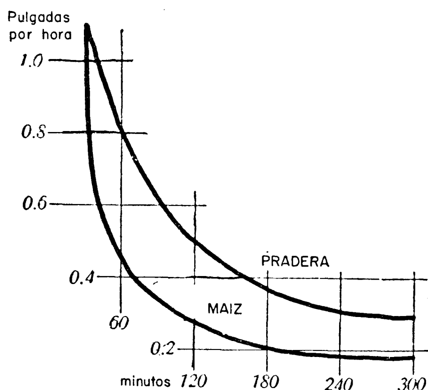
ESTA FORMACIÓN de complejos de coberturas de tierra puede dividirse en cuatro grupos de infiltración:

El grupo A incluye las tierras profundas muy permeables y los profundos agregados cenagosos que se originan en las margas, que tienen poca arcilla y coloides, y los cienos tienen suficiente materia orgánica para proporcionar un buen conjunto.

El grupo B incluye las tierras arenosas y las margas cenagosas de profundidad moderada e infiltración mayor que la normal, variando las cifras mínimas, aproximadamente, de 0.15 a 0.30 de pulgada por hora.

El grupo C incluye las tierras poco profundas de todas clases de contextura y sus periodos de infiltración mínima son menores de lo normal (0.05 a 0.15 de pulgada por hora).

El grupo D, incluye tierras con grandes proporciones de abultamiento en la superficie o subsuelo debido a su alto contenido de arcilla o coloides, y sus pro-



Una comparación de la infiltración bajo pastos de hierba azul y bajo maíz, mostrando la declinación más rápida de la proporción en la cosecha de surco.

porciones de infiltración se aproximan a 0.05 de pulgada por hora.

Cada grupo contiene unidades individuales (complejos de cobertura de tierra) cuya proporción de infiltración se ha medido por uno o varios métodos. La posición de la curva se ha determinado por las proporciones mínimas encontradas en las grandes vertientes hidráulicas. La posición relativa de las unidades en la curva se ha determinado bajo una base comparativa para la que se tuvieron en cuenta todos los datos disponibles.

En la tabla se dan ejemplos de las tierras incluidas en esos complejos de coberturas de tierra. Como esa información específica no se registra para todas las tierras, la lista proporciona una guía y puntos de base para poder insertar otras tierras. Si se da la contextura, profundidad y otras características de las tierras M y N, un técnico puede determinar las características semejantes de una tierra X, y así, por interpolación, puede situar debidamente la infiltración desconocida de esa tierra X en la lista de tierras conocidas.

Los estudios de las características físicas de la tierra muestran que la infiltración en las tierras superficiales se correlaciona positivamente con su contenido de materia orgánica, estado de agregación y cantidad de grandes poros, pero que se correlaciona negativamente con la dispersión de sus partículas. En el subsuelo se correlaciona también positivamente con el contenido de materia orgánica y la cantidad de grandes poros, y negativamente con la cantidad de arcilla y densidad del horizonte de tierra.

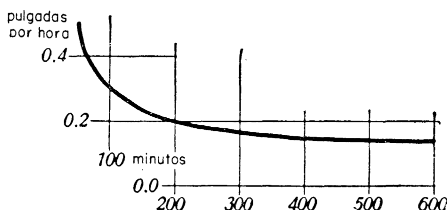
REPITIENDO, LAS CARACTERÍSTICAS de la tierra que rigen la infiltración, incluyen las propiedades físicas primarias tales como contextura y profundidad a los lentos horizontes permeables. Tiene también que considerarse la historia previa de labranzas, que puede afectar considerablemente la estructura o el arreglo de las partículas de tierra.

Algunas de nuestras proporciones de infiltración más elevadas ocurren en las profundas margas cenagosas que están completamente incorporadas y que, por lo tanto, tienen poros relativamente grandes. A veces esos agregados son del tamaño de granos de arena gruesa, y la infiltración es semejante a ella mientras la estructura queda incorporada en esa forma.

Esa estructura favorable tiene muchos riesgos y uno de los factores más comunes es la intensa labranza, que rompe las partículas incorporadas de tierra y agota la materia orgánica, que es uno de los elementos esenciales de la formación agregada.

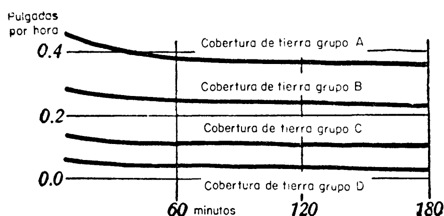
La lluvia que cae sobre la tierra desnuda rompe también los agregados de tierra, dejando una capa superficial compacta y densa a través de la cual el agua puede moverse muy lentamente. Las hierbas, los árboles o las coberturas de paja protegen la tierra contra esas fuerzas desintegrantes y son también fuentes de materia orgánica que es muy útil para la renovación de la buena estructura de la tierra.

Bajo las cosechas, entre cultivos tales como maíz, algodón, cacahuates, papas o frijoles soya, la infiltración es ordinariamente mucho menor que bajo hierbas, árboles o coberturas artificiales. El incremento de la infiltración que resulta de un cambio en la vegetación es mayor cuantitativamente en tierras profundas y permeables que en tierras superficiales y apretadas, y las potencialidades prácticas de mejoramiento son menores en estas últimas.



Infiltración bajo humedad y temperatura promedias de la tierra durante 140 tormentas, cosecha de surco, grupo C de tierras.

Los datos de la segunda tabla se obtuvieron muestreando campos en Illinois, en donde la hierba se pastaba y el maíz se manejaba por medio de las operaciones normales de labranza. Hay grandes y constantes diferencias cuando la infiltración ocurre bajo maíz o bajo hierbas,



Segunda tormenta en tierras húmedas del grupo de la primera tabla. Compárece el grupo C con su proporción promedia mostrada en la tercera tabla.

y esas diferencias son consistentemente mayores en las tierras más profundas. En la figura no aparece el hecho de que los campos en los que se hayan cultivado hierbas durante 20 años o más tengan mayores infiltraciones que aquellos en que se hayan cultivado las mismas hierbas durante 10 ó 20 años. Estos últimos, a su vez, tuvieron una infiltración mayor que aquellos en los que se cultivaron hierbas durante 5 años. Evidentemente el número de años afecta la proporción, y esto sólo puede deberse a efectos residuales asociados con la formación de agregados, incluyendo principalmente una acumulación de materia orgánica bajo la superficie.

Las rotaciones de cultivos producen efectos intermedios entre los de las hierbas y el maíz. Mientras hay más cosechas que formen terrones en la rotación, mayores son sus efectos en la infiltración. El maíz, los granos y el heno (un año cada uno) no afectan tanto la infiltración como lo hace una rotación de 4 años de maíz, granos y heno. Los granos pequeños producen también efectos intermedios entre los de las cosechas de surco y las hierbas. Los huertos de entrecultivos tienen una infiltración más baja que los huertos de terrones.

Para calcular la infiltración de tierras que difieren de las condiciones normales, hay que tener en cuenta otros principios adicionales:

1º Las diferencias de infiltración de tierras diversas se correlacionan perfectamente con el tamaño de las partículas, cantidad de materia orgánica en la tierra y profundidad de ésta. Estas son las principales características que hay que examinar en una tierra para calcular su infiltración.

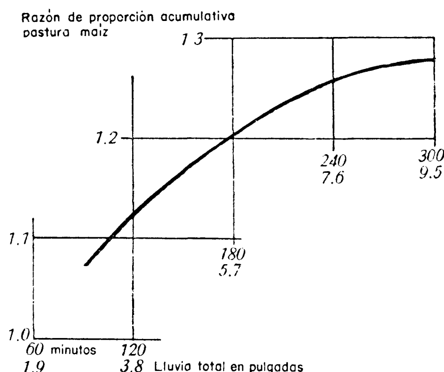
2º Las diferencias de infiltración para diversas cosechas son menores: *a)* Cuando las tierras se aproximan a la saturación. *b)* Cuando las tierras (si contienen mucha arcilla o coloides) se encuentran en su máxima condición de abultamiento. *c)* En los meses fríos más bien que en los calientes.

3º Deben juzgarse las diferentes tierras a base de sus propiedades físicas individuales:

a) Es de esperarse que las tierras arcillosas con alto grado de abultamiento cuando están húmedas, tengan una proporción de absorción mucho menor en este estado que cuando están secas. Si las hendiduras son muy frecuentes y extensas cuando están secas, la proporción de absorción puede ser relativamente alta. (La arcilla de Houston es un ejemplo.)

b) Las arenas profundas o las tierras con bajo contenido de arcilla y coloides, pueden tener proporciones bastante altas aun cuando estén cerca de la saturación, debido a que el abultamiento es inapreciable. (La arena profunda de Norfolk es un ejemplo.)

c) Las tierras lateríticas, o aquellas de las que se han deslavado los coloides hasta cierto grado, tienden también a



La infiltración relativa de los pastos de hierba azul comparada con el maíz, en margas cenagosas del grupo C. El aumento relativo en los cienos profundos puede ser mayor que el que se muestra. El aumento relativo en arenas puede ser menor. Las tierras lateríticas pueden también ser menores de lo que se muestra por la curva, aunque mayores que las arenas.

retener sus proporciones iniciales de absorción después de humedecerse. (Las tierras Cecil de los estados del Sudeste, por ejemplo, muestran una declinación relativamente lenta de esta proporción a medida que aumenta la humedad.)

d) Las tierras con agregados estables en el agua no declinan en proporción tan rápidamente como aquellas cuya estructura de agregados es menos estable. Las margas cenagosas que tienen un alto contenido de materia orgánicas y aquellas con pH relativamente elevado, caen a menudo en esta categoría. (Las series Honeoye, en partes de New York, son ejemplo de esto.)

Esas relaciones rigen en principio la forma de la curva de infiltración a medida que declina con el tiempo. En la figura 3 se muestra la declinación en la proporción para una tierra del grupo hidrológico C con humedad promedia, y otras condiciones superficiales, durante 149 tormentas. Diez horas después de su iniciación, baja a una proporción casi constante de 0.15 de pulgada por hora.

Se muestra una segunda tormenta en la misma tierra en la figura 4, en la que la absorción, cuando la tierra está completamente mojada, declina lentamente hasta aproximadamente 0.10 de pulgada por hora. En forma típica, la curva promedia (como en este ejemplo) declina rápidamente hasta que se vuelve casi asintótica, pero ocurre cierta declinación posterior en la tormenta siguiente.

La ganancia de infiltración que sigue a un cambio en la vegetación de escasa (como en una cosecha de surco, tal como el maíz) a densa (como en los pastos de hierba azul), se muestra en la figura 5, que representa el grupo hidrológico C. La ganancia relativa no es tan grande como en el grupo B, en donde la profundidad de tierra puede ser mayor. La ganancia en arena puede ser menor debido a que no hay un alto grado de agregación después del crecimiento de la hierba. Las tierras lateríticas (como las de Cecil) pueden mostrar también una ganancia menor que la de la figura 5, aunque ésta sea mayor en las arenas. En las arcillas apretadas del grupo de infiltración D, no ocurren grandes ganancias con una mejoría de la vegetación cuando esas tierras se encuentran abultadas y saturadas. Un factor que afecta la cantidad de ganancia derivada de las hierbas en los grupos A, B y C (cuando la agregación es posible), es la edad de la cubierta de terrones. Las correlaciones positivas significativas para la cubierta de terrones de 5, 10, 15 y 25 años de edad, indican que la agregación avanzó a medida que se acumulaba la materia orgánica, y que los demás procesos que favorecen la formación de grandes poros tenían tiempo para producir sus efectos.

UNA FORMA EFICAZ de aumentar la infiltración consiste en utilizar una cubierta de paja, residuos de cosechas u otros materiales de plantas. En Zanesville, Ohio, se hicieron extensas series de experimentos con diferentes clases de tratamientos previos y diferentes tipos y proporciones de aplicación de coberturas. Los resultados demostraron que la función de la cobertura consiste principalmente en proteger la estructura favorable ya existente. Si la tierra no es permeable, la cubierta no la vuelve permeable. Sin embargo, cuando se cultivó una tierra apretada a una profundidad de una pulgada y se aplicaron a la superficie 2 toneladas de paja, la proporción de infiltración después de 60 minutos de lluvia fue de 2.10 pulgadas por hora y de 1.63 pulgadas por hora 100 minutos después de la iniciación de la lluvia. En tierras sin cobertura, pero semejantes en los demás aspectos, la proporción de infiltración bajó a 0.28 de pulgada por hora a los 60 minutos de iniciarse la lluvia. El impacto de lluvia en tierra sin protección produjo la típica superficie densa que, a lo mucho, sólo es lentamente permeable.

Aun las piedras de la superficie pueden proporcionar cierta protección. Dos parcelas de marga sedimentaria pedregosa cerca de Ithaca, New York, tenían una cobertura natural de pequeñas piedras planas. Después de que se removieron las piedras de una parcela, su infiltración disminuyó grandemente en comparación con la de la otra parcela con su cubierta natural de piedras.

Se usan residuos de cosechas de muchas clases. Se están mejorando las prácticas de labranza, a fin de que se rompa

el subsuelo y se deje una capa protectora de vegetación sobre la superficie. Los horticultores, funcionarios de carreteras y otros, utilizan a veces una cubierta de aspillera en los declives nuevos y recién sembrados. Esas prácticas permiten mejorar la infiltración, disminuyen la temperatura de la tierra y la conservan húmeda en la superficie, a fin de que puedan establecerse en ella las semillas en germinación.

Se investigaron los campos que se siembran repetidamente con trigo en Hays, Kansas, y se hicieron comparaciones entre las parcelas en las que se quemaba el rastrojo antes de la siembra y aquellas otras en las que la labranza anterior a la siembra era de tal natu-

Arreglo tentativo de tierras en orden de proporción de infiltración mínima. (Agrupamiento preliminar.) [1]

D—Grupo más bajo

(Proporción de infiltración mínima: De 0 a 0.5 pulgadas por hora.)

Incluye tierras de alto porcentaje de abultamiento, arcillas plásticas pesadas y ciertas tierras salinas.

Ejemplos (de menos a más):

Houston
Austin
Trinity
Susquehanna
Lufkin
Algunos pantanos.

C—Grupo más bajo del promedio

(Proporción de infiltración mínima: de 0.5 a 0.15 de pulgada por hora)

Incluye muchas margas arcillosas, margas arenosas superficiales, tierras con bajo contenido de materia orgánica y tierras ordinariamente ricas en arcilla.

Ejemplos (de menos a más):

Bellmont	Berwick	Bates
Blueford	Bogota	Shelby
Cisne	Del rey	Iredell
Eylar	Atterbury	Elktone
Jacob	Batavia	Vernon
Okaw	Clarksdale	Marga arcillosa
Racoon	Elliott	Cecil
Rushville	Shiloh	Dunkirk
Weir	Upshur	Miami
Breese	Putnam	Fillmore
Cowden	Muskingum	Butler
Ebbert	Westmoreland	Kirkland
Clarence	Parsons	Rosebud
Patton	Volusia	Myatt
Rantoul	Viola	Kalmia
Swygert	Arcilla pesada	Appling
Wabash	Crown	Seneca
Ava		

D—Grupo arriba del promedio

(Proporción de infiltración mínima: 0.15 a 0.30 de pulgada por hora.)

Incluye margas poco profundas y margas arenosas.

Ejemplos (de menos a más):

Arenzville	Marshall	Orangeburg
Camden	Kirkland	Carrington
Youthful Ava	Belbourne	Hopi
Walla Walla	Sylvan-Blair	Ruston
Sharpsburg	Athena	Aiken
Selah	Davidson	Hagerstown
Buell	Ida	Hamburg
Badger	Tama	Muscatine
Clinton	Marshall	Saybrook
Colby	Fremont	Harpster
Greenville	Western	Ellison
Boone	Clarion	Kincaid
Red Bay	Fayette	Waukesha
Marga fina arcillosa Cecil	Seaton	Judson
	Sylvan	Honeoye
Palouse	Flanagan	Madison
Dubuque	Huntsville	Durham
Monona-	Tama	

A—Grupo más alto

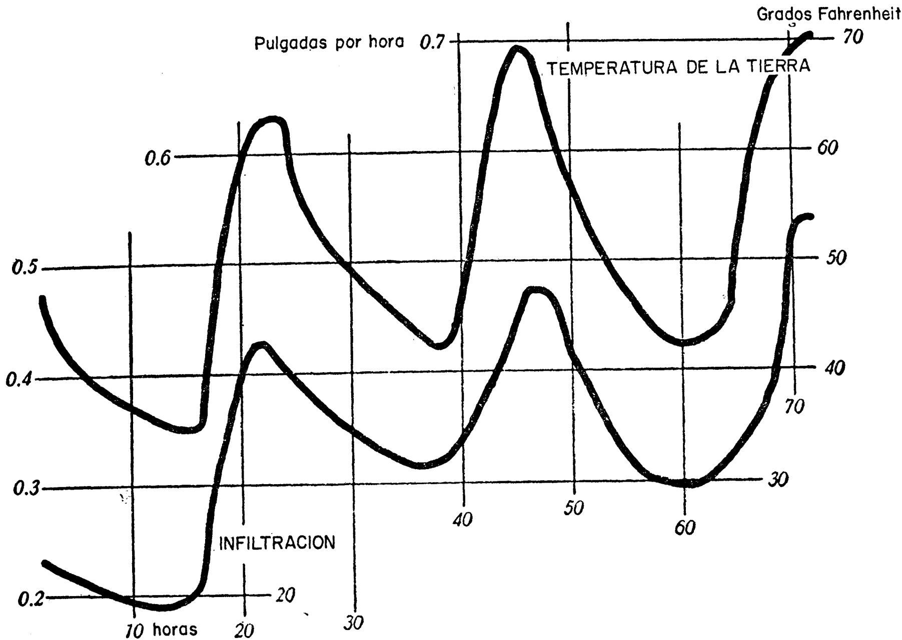
(Proporción de infiltración mínima: 0.30 a 0.45 de pulgada por hora.)

Incluye arena profunda, margas profundas y cienos agregados.

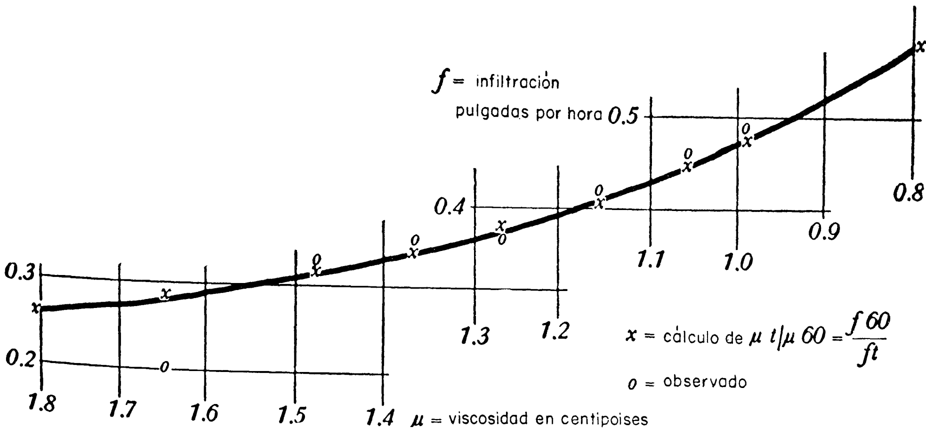
Ejemplos (de menos a más):

Knox.	Colinas arenosas de Nebraska.
Otras margas profundas.	Colinas arenosas del Sudeste.

[1] Se han hecho algunas medidas de infiltración de las tierras listadas aquí sobre las cuales se ha basado el arreglo tentativo anterior, reconociéndose que pueden todavía ser necesarios algunos cambios de este orden. Pueden añadirse otras tierras basándose en la opinión de los técnicos de tierras. Se han cambiado los nombres de algunas tierras debido a su correlación, y, por lo tanto, toda esta lista es tentativa.



Temperaturas e infiltración durante una prueba continua de 72 horas cerca de Colorado Springs, en donde la infiltración es proporcional a la viscosidad del agua.



Viscosidad del agua y proporción de infiltración, Colorado Springs, Colorado.

raleza que dejaba el rastrojo en la superficie. La cantidad total de infiltración durante una tormenta fue de 0.71 de pulgada en donde se quemaba el rastrojo, y de 1.16 de pulgada en donde su influencia protectora se ejercía en la tierra.

El efecto de la temperatura en la proporción de infiltración se muestra en la figura 6, que registra una prueba de 72 horas, en la cual las temperaturas de la tierra y del agua fluctuaron diariamente más de 20° F., ocurriendo los máximos diarios, aproximadamente, a la 1 p. m., y los mínimos, aproximadamente, a las 6 a. m. Si la curva oscilante de infiltración se computa para temperatura y viscosidad constantes del agua, se convierte en la curva de la figura 7, que demuestra que hay una correlación casi perfecta entre la infiltración y la viscosidad del agua (un ejemplo común de los efectos de la temperatura y de la viscosidad es el flujo de la melaza, que es más lento cuando está fría que cuando está caliente).

Como sumario, los factores principales que afectan la absorción de agua por la tierra, son:

1º Condición superficial y cantidad de protección contra el impacto de la lluvia.

2º Características internas de la masa de tierra, incluyendo tamaño de poros, profundidad o grueso de la parte permeable, grado de abultamiento de la arcilla y coloides, contenido de materia orgánica y grado de agregación.

3º El contenido de humedad y grado de saturación.

4º La duración de la lluvia o la aplicación de agua.

5º La estación del año y las temperaturas de la tierra y del agua.

De esos cinco factores, los que son fácilmente modificables por la acción del hombre son los que se refieren a las condiciones de la superficie de la tierra y a su protección contra el impacto de la lluvia. Los mantos de vegetación o las cubiertas protectoras, con la consiguiente acumulación de materia orgánica en la tierra, hacen esencialmente lo que la Naturaleza ha hecho a través de los siglos. Mediante la intensa labranza el hombre aprovecha o destruye la vegetación que proporciona protección a la superficie y acelera la pérdida de materia orgánica. Mediante la rotación de cultivos que incluya hierbas y legumbres, mediante cosechas de hierba continuas o a largo plazo y proveyendo una cobertura artificial, recupera una parte de las pérdidas que causa, y todo esto mejora la infiltración, aunque no hasta alcanzar sus proporciones iniciales.

Para mejorar todavía más la absorción, el hombre depende grandemente de los medios mecánicos, incluyendo terracerías, cultivo de contornos y varios medios de retrasar el flujo superficial, suministrando así más tiempo para la absorción del agua.

Se ha argumentado que el aumento en la infiltración debido a los tratamientos de conservación puede aparecer corriente abajo en forma de desbordamiento superficial, y que ese aumento puede sumarse a la descarga máxima. Esos cambios existen, pero es obvio que el movimiento del agua a través de los mantos de tierra es más lento que su movimiento sobre la superficie. La probabilidad de que este flujo hacia afuera ocurra a tiempo para coincidir con la descarga máxima del flujo superficial, es muy remota.

La mayoría de la vida de las plantas depende de la absorción del agua por la tierra. Los manantiales, pozos, suministros de agua del suelo y el flujo básico de los arroyos, todos dependen de ella, y en grado no menor, la utilización y el cuidado de la tierra por el hombre rige la cantidad de absorción. Afortunadamente, el manejo adecuado de la tierra que tienda a preservar las estructuras naturales de la misma o a restaurarlas en cierto grado, es normalmente benéfico para la producción de cosechas y ganado, y proporciona además un medio práctico de suplementar las medidas mecánicas para la reducción del desbordamiento excesivo.

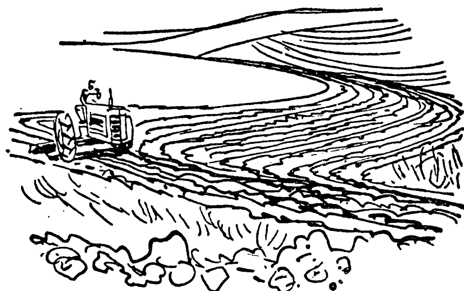
G. W. MUSGRAVE *fue superintendente de la Estación Experimental de Conservación de Tierras en Temple, Texas, y posteriormente de Clarinda, Iowa y Bethany, Maryland. Más recientemente se ha especializado en investigaciones relativas a la infiltración, y es ahora especialista del personal de la División de Ingeniería del Servicio de Conservación de Tierras.*





Estas ilustraciones dibujadas de fotografías, muestran el lago Como, Hokah, Minnesota, cuatro años después de su formación por una nueva presa, y diez años más tarde, cuando se había azolvado.

El cuidado de nuestras vertientes hidráulicas



La conservación comienza en las vertientes hidráulicas

Carl B. Brown y Warren T. Murphy

LITERALMENTE, una vertiente hidráulica no es lo que era.

Hace 30 años se consideraba que ese término significaba principalmente la división de desagüe que separaba las aguas que fluían a diferentes ríos u océanos. Así, la División Continental en Wyoming o New Mexico era realmente una vertiente hidráulica. Gradualmente comenzó a usarse el término "área de vertiente hidráulica", para referirse a la cuenca de desagüe de un río o arroyo. Con el tiempo se abandonó la palabra "área", y para la mayoría el término vertiente hidráulica tiene el mismo significado que cuenca de desagüe.

Esa transición de significado continúa todavía. Los sabios o lexicógrafos pueden mencionar las áreas de desagüe del Missouri, Ohio o Columbia como vertientes hidráulicas, pero muchas personas están comenzando a pensar en las vertientes hidráulicas como áreas de desagüe más pequeñas. Las áreas de desagüe mayores se llaman más comúnmente cuencas de ríos, y a las vertientes muy pequeñas, de unos cuantos cientos o miles de acres, se les llama subvertientes.

El término vertiente hidráulica implica ahora un área de desagüe que contiene unos cuantos miles o cientos de miles de acres, de la que el agua se desaloja a través de un solo canal y constituye una unidad social y económica para el desarrollo comunal y la conservación de los recursos hidráulicos, de tierras, de bosques y otros relacionados.

La conservación basada en el cuidado de las vertientes hidráulicas data de muchos años atrás.

En 1867, la legislatura del estado de Wisconsin estableció una comisión que fijó las relaciones existentes entre la cobertura de bosques y el flujo de los arroyos.

En 1872, una comisión del estado de New York investigó la conveniencia de conservar los bosques de las Montañas Adirondacks para beneficio del río Hudson y otros, así como del Canal de Erie.

La Asociación Norteamericana para el Progreso de la Ciencia, envió en 1874 un Memorial al Congreso y a las legislaturas de los estados, en el que llamaba la atención "al secado de los arroyuelos... y a la creciente tendencia hacia inundaciones y sequías".

En 1888, el Congreso Forestal Norteamericano adoptó una conclusión llamando la atención al valor de las tierras públicas de los orígenes de los arroyos para la conservación de los suministros de

agua, y haciendo hincapié en la necesidad de que se consideraran esas tierras como de utilidad pública, "con el propósito de mantener y preservar un abundante suministro de agua en todos los ríos y arroyos".

En 1891 se establecieron las primeras reservas forestales, de acuerdo con autorización concedida por el Congreso. En 1897, el Congreso, al promulgar la Ley Orgánica de Administración para los bosques nacionales, estableció, como uno de los fines principales de ellos, el "aseguramiento de condiciones favorables para los flujos de agua".

Durante los primeros 30 años de este siglo, el creciente interés público en la relación existente entre los flujos de agua y las vertientes hidráulicas, se reflejó en la Ley de Recuperación de 1902, el establecimiento del Servicio Forestal en su forma actual en 1905, la Conferencia de Gobernadores de la Casa Blanca para la Conservación de los Recursos Naturales en 1908, la Ley Wicks de 1911 que autorizaba la adquisición federal de tierras de las vertientes hidráulicas en los orígenes de los arroyos navegables con el fin de "conservar la navegabilidad de los ríos navegables", la Ley Federal de Energía Hidráulica de 1920, la Ley de Control de Inundaciones de 1927, la Ley de Investigacviones Forestales McSweeney-McNary de 1927 y las primeras contribuciones federales para investigaciones de conservación de tierras en 1928.

A mediados de la década de 1930 se promulgó una serie de leyes federales y estatales destinadas a proporcionar la maquinaria administrativa y los fondos para el esfuerzo nacional de desarrollo, mejoramiento y conservación de la tierra y del agua. Entre las muchas medidas que entonces se tomaron, son dignas de mencionarse la creación de una agencia federal para combatir la erosión de la tierra en 1933 y su establecimiento como Servicio de Conservación de Tierras por ley del Congreso de 1935, la creación de la Administración del Valle de Tennessee en 1933 para fomentar un programa de desarrollo de recursos de la cuenca integrada de un río, la promulgación de la Ley de Control de Inundaciones de 1936 que reconocía el cuidado de las vertientes hidráulicas como similar y complementario del control de inundaciones corriente abajo, las reformas a la Ley de Conservación de Tierras de 1937 para proporcionar el incentivo de pagos para las prácticas de conservación de tierras y la promulgación por todos los estados y territorios, unos cuantos años después de 1937, de leyes que hicieron posibles los distritos de conservación de tierras.

Se tomaron muchas medidas progresistas y constructivas en la década anterior a la Segunda Guerra Mundial. Muchas de ellas reforzaron los esfuerzos nacionales para suministrar mayor cantidad de alimentos, más energía, mejor transportación y una mayor protección contra las inundaciones y las sequías.

Sin embargo, en la era de la postguerra, las necesidades cambiantes, el incremento de la comprensión pública, un clima económico diferente y 20 años de experiencia, hicieron necesaria una revisión del concepto público y privado de muchos aspectos del desarrollo y conservación de nuestros recursos, y en la corriente de progreso durante los años de la postguerra, son dignos de notarse diversos adelantos y tendencias.

Hay un movimiento creciente que se aleja de los desarrollos o conservaciones con un solo propósito, y que tiende a favorecer las empresas integradas o de propósitos múltiples. Hemos aprendido que la forma en que se manejan nuestros recursos, tales como la tierra, puede tener un serio impacto sobre otros recursos, tales como los suministros de agua o la energía hidroeléctrica.

El interés principal se dirigió primeramente (aproximadamente de 1933 a 1952) a la planeación de los recursos de las principales cuencas de ríos, tales como las del Missouri, Columbia y Arkansas. A medida que se ampliaron las perspectivas públicas, fue cada vez más aparente que una gran cuenca de río es una unidad adecuada de planeamiento, especialmente para los grandes proyectos interrelacionados, tales como la navegación en los canales principales y las presas de fines múltiples para producción de energía, control de inundaciones y riegos. Aunque los principales programas de cuencas de ríos han establecido am-

plias metas convenientes para la utilización de los recursos y han detallado la relación general entre los recursos de tierras y aguas y los principales proyectos estructurales, no podían ocuparse de los detalles necesarios para obtener las metas en miles de granjas individuales, ranchos y sitios forestales. Para hacerlo se requería la comprensión y la ayuda activa de muchos miles de terratenientes individuales.

El reconocimiento de esta situación ha conducido a la solución de utilizar las pequeñas vertientes hidráulicas para el uso y desarrollo de la tierra y de los recursos hidráulicos. Las grandes cuencas de ríos contienen hasta 16,000 pequeñas vertientes, en las que hay una comunidad de intereses, ya existente o en potencia, entre los residentes. A veces una pequeña vertiente hidráulica puede consistir de menos de 1,000 acres, y otras más de un millón de acres, dependiendo de su situación local. En los estados del Oeste, escasamente poblados, pueden ser muy grandes, y en el Este, bastante pequeñas. Independientemente de su tamaño, los residentes en el área de esas vertientes necesitan tener intereses comunes y mutuas preocupaciones.

El reconocimiento de la pequeña vertiente hidráulica como unidad primaria para el desarrollo, manejo y conservación de los recursos que tienen que ver con el agua, la tierra y otros recursos relacionados, se refleja en la formación, desde el año de 1945, de casi un millar de grupos, asociaciones y organizaciones legales relacionados con las vertientes hidráulicas. Casi todas las importantes organizaciones nacionales en los campos de la industria, el trabajo, la agricultura y la conservación, han apoyado o patrocinado el concurso local, estatal y federal para la planeación y ejecución de programas dentro de la estructura de las unidades de vertientes naturales.

La parte proporcional de los intereses federales y estatales en esas unidades en relación con los intereses locales, varía de una vertiente a otra, de acuerdo con cierto número de factores, tales como el total de beneficios que puedan derivarse corriente abajo de los programas de mejoramiento de las vertientes, las áreas de tierras federales y estatales dentro de ellas y la relación de las medidas propuestas para cada vertiente con las políticas y metas de recursos estatales y nacionales. En otras palabras, aunque la solución de la pequeña vertiente proporciona un medio excelente para que el terrateniente individual y la comunidad local participen en el programa de mejoramiento de los recursos, no se espera que esa solución origine un grupo de programas sin relación ni coordinación algunas. Así como la pequeña vertiente hidráulica forma parte de una unidad mayor de la cual no puede separarse, de igual manera las comunidades locales en cada vertiente forman parte de sus respectivos estados y de la nación.

Aunque los programas de mejoramiento de las pequeñas vertientes no se prestan a la construcción de obras importantes, tales como proyectos de generación de energía eléctrica, grandes presas y represas o proyectos importantes de recuperación, suministran cierto grado de protección contra las inundaciones y contribuyen al control de la erosión y a la disminución de la sedimentación que benefician las áreas altas de las vertientes, y contribuyen también a la prolongación de la vida y a la eficacia de las obras de mejoramiento corriente abajo.

El extenso interés público en la protección corriente arriba de las vertientes hidráulicas, refleja el hecho de que los programas nacionales de ayuda a los terratenientes y operadores individuales no proporcionan una ayuda adecuada para la solución de los problemas comunales interrelacionados. Esos problemas incluyen el control local agrícola y urbano de las inundaciones, los mutuos programas de riego, el mejoramiento del desagüe de los arroyos, los suministros locales de agua, la disminución de la contaminación en los arroyos tributarios, el mejoramiento de los sitios de habitación de la fauna y la estabilización de las grandes extensiones de tierra dañadas por la erosión y por las canalizaciones. En otros casos, la aplicación de los programas generales nacionales no ha progresado con la rapidez suficiente para solucionar las urgentes necesidades relativas a la con-

servación de las aguas y de las tierras.

La creciente diferencia entre las necesidades y los suministros de agua ha incrementado de modo importante el interés nacional en la legislación y en el desarrollo de programas más eficaces. En 1955 había una tendencia definida, por lo menos en la mitad de los estados, para lograr mejoras legislativas que definieran los derechos de propiedad del agua o que establecieran la maquinaria administrativa necesaria para capacitar a los estados y subdivisiones locales de gobierno para la ejecución de los programas de recursos de aguas y tierras.

El Octogésimo Tercer Congreso añadió una nueva y significativa legislación general. En ella consideramos tres leyes como de especial importancia: La primera es la Ley núm. 566, de Protección a las Vertientes Hidráulicas y de Prevención de Inundaciones; la segunda es la Ley núm. 597, que reformó las disposiciones de la Ley de Facilidades Hidráulicas de 1937, extendiendo su aplicación a todos los Estados Unidos de Norteamérica e incluyendo en ella todas las medidas de conservación de aguas y tierras. La tercera es la Sección 175 de la Ley núm. 591, el Código de Ingresos Internos de 1954.

De acuerdo con la Sección 175, muchos desembolsos efectuados para la conservación de tierras y aguas que anteriormente tenían que capitalizarse, pueden considerarse ahora como gastos y serán deducibles de los ingresos brutos

La nueva legislación no suplantó a las anteriores, excepto en lo relativo a la modificación de autoridad del Departamento de Agricultura para participar en los programas establecidos bajo la Ley de Control de Inundaciones de 1936. Suplementa más bien la legislación existente y llena las lagunas que no cubrían los programas autorizados previamente y que trataban de la conservación, mejoramiento y desarrollo de tierras, aguas, fauna, praderas y bosques. En las vertientes, incluyendo las Areas Forestales Nacionales, proporciona los medios para que los intereses locales y los terratenientes individuales puedan cooperar con el Servicio Forestal, el Servicio de Conservación de Tierras y las agencias estatales para el mejoramiento de las vertientes y para la prevención de daños causados por las inundaciones por medio de un esfuerzo coordinado que incluye la propiedad de la tierra.

Las disposiciones de la Ley de Protección de las Vertientes Hidráulicas y de Prevención de Inundaciones reflejan las nuevas tendencias de la opinión pública. Se dan más detalles sobre esto en el capítulo que sigue.

En las fases más amplias de cuencas de río del desarrollo de los recursos hidráulicos, los estados continúan cooperando, tanto entre ellos mismos como con el Gobierno Federal, por medio de comisiones interestatales y de comités entre las agencias de las cuencas de los ríos. Continuarán desarrollándose programas y objetivos relacionados con sistemas fluviales completos en los aspectos de desarrollo de recursos a los que son aplicables. Los programas de las pequeñas vertientes servirán para proporcionar una base más sólida para los programas más amplios, y ayudarán a conseguir la realización de metas más extensas.

LAS PERSONAS INTERESADAS podrían preguntar: ¿Qué medidas pueden tomarse y qué clase de ayuda pueden obtener las comunidades para el desarrollo, mejor utilización, manejo y conservación de la tierra y del agua en las pequeñas vertientes hidráulicas?

Los terratenientes y los operadores individuales pueden utilizar muchas formas de asistencia pública. En cada condado agrícola de los Estados Unidos de Norteamérica hay un agente de condado, que es empleado de los Servicios de Extensión Cooperativa Federales y Estatales y que, a petición de éstos, indicará al agricultor o al ranchero la clase de ayuda que necesitan los problemas individuales de cada uno.

Cuatro de cada cinco granjas o ranchos en los Estados Unidos de Norteamérica se encuentran en distritos de conservación de tierras, que son subdivisiones estatales organizadas y manejadas localmente. Su fin principal es ayudar a los agricultores y rancheros a planear y aplicar medidas para la conservación de tierras y aguas, y cuentan con la ayuda de especia-

listas técnicos del Departamento de Agricultura.

Los terratenientes y los operadores pueden obtener ayuda económica en cantidades variadas, que llegan hasta el 50% del costo de aplicación de las medidas de conservación de tierras y aguas, por medio del Servicio de Programas de Conservación Agrícola. El programa se administra por los Comités de Estabilización y Conservación Agrícola del condado, que existen en todos los condados agrícolas.

Un terrateniente puede obtener préstamos a largo plazo a un interés muy bajo de la Administración Hogareña de los Agricultores, o garantizados por ella, para sus desembolsos de conservación de tierras y aguas y suministros de agua.

Bajo la disposiciones del Código de Ingresos Internos, los terratenientes pueden hacer ciertas deducciones que se consideran como gastos de operación de sus entradas brutas, para la aplicación de muchas de esas medidas.

La mayoría de los estados mantienen organizaciones forestales. Pueden obtenerse informaciones relacionadas con la plantación de árboles y con problemas forestales de los guardas forestales estatales o de los guardas forestales de los servicios de extensión. En muchos condados se encuentran guardas forestales agrícolas empleados por los estados y que pueden dar información y prestar ayuda.

En esta forma el terrateniente y el operador reciben ayuda de muchas clases y muchos incentivos para conservar las tierras y las aguas, ayuda técnica para la planeación y aplicación de medidas, reembolsos de cierta parte de los costos de aplicación, acceso a un sistema de crédito favorable para el excedente de esos costos, y algunas oportunidades de deducir parte de los costos de su impuesto sobre la renta.

Sin embargo, los terratenientes se enfrentan a problemas que no pueden solucionar individualmente en sus propias granjas. Igualmente hay individuos que aunque no sean dueños de granjas a menudo están interesados en el uso que hagan del agua los agricultores y rancheros. Por ejemplo, el mismo agricultor ordinariamente no puede controlar la inundación de sus tierras bajas, porque el agua proviene de una docena o de un ciento de granjas que se encuentran corriente arriba. A menudo tampoco puede desaguar sus tierras bajas, porque para ello hay que abrir un canal que corre a través de media docena de granjas. Puede también necesitar un mejor suministro de agua para riesgos, y tiene que unirse a sus vecinos para crear esas facilidades.

La acción de grupo se inicia comúnmente por unos cuantos dirigentes comunales que se unen para ejecutar cierta tarea. Este ha sido el génesis de la mayoría de los cientos de asociaciones de vertientes hidráulicas que se han formado desde 1945. Esas asociaciones son principalmente organizaciones educativas y de promoción que se dedican a informar al público sobre los problemas que existen en las vertientes hidráulicas y sus soluciones. Algunas de ellas se han formado dentro de la estructura de las organizaciones locales ya existentes, tales como los distritos de conservación de tierras. Otras han nacido independientemente y han procedido a solicitar la ayuda de toda clase de grupos locales en un frente común.

Una vez que se ha creado una amplia base de comprensión y ayuda pública entre todos los elementos de la comunidad, es tiempo de organizar esa acción. Si la vertiente hidráulica se encuentra dentro del radio de acción de una organización local autorizada por ley estatal para llevar a cabo, hacer funcionar y conservar las obras de mejoramiento necesarias, esa organización puede obtener la ayuda federal. De acuerdo con las disposiciones de la Ley de Protección de Vertientes Hidráulicas y Prevención de Inundaciones, las solicitudes de ayuda se turnarán al Departamento de Agricultura.

Pueden obtenerse más detalles de los servicios de conservación en cada estado sobre la forma en que los programas para las pequeñas vertientes hidráulicas se desarrollarán y ejecutarán por las comunidades locales a través de sus organizaciones locales con ayuda estatal y federal.

Apenas se está comenzando a aplicar en forma eficaz el concepto de la solución de la pequeña vertiente hidráulica al

desarrollo y conservación de los recursos de tierras y aguas. Los que están familiarizados con las necesidades de rehabilitación y mejor utilización de los recursos, creen que esta solución redundará en beneficios bien definidos para los mismos recursos, para los habitantes de las vertientes hidráulicas y para la nación.

CARL B. BROWN *es director de la División de Planeamiento del Servicio de Conservación de Tierras, y ha ocupado puestos de investigación y planeamiento en el Servicio desde 1934.*

WARREN T. MURPHY *es jefe de la División de Prevención de Inundaciones y Programas de Cuencas Fluviales del Servicio Forestal, habiendo sido miembro de dicho Servicio desde 1927.*

Una ley que coloca la responsabilidad en la propia casa

Harry A. Steele y Kirk M. Sandals

AL PROMULGAR LA LEY de Protección de Vertientes Hidráulicas y Prevención de Inundaciones, el octogésimo tercer Congreso enfatizó la responsabilidad local en el desarrollo de los recursos.

La Ley fue el resultado de muchos años de estudio del Comité Agrícola y Forestal del Senado, del Comité Agrícola de la Cámara y del Departamento de Agricultura. Esos estudios demostraron la necesidad de un programa nacional de vertientes hidráulicas y pusieron al descubierto la demanda pública para el mismo.

El Comité Agrícola de la Cámara efectuó una investigación en agosto de 1950 sobre el proyecto de programa agrícola para la cuenca del río Missouri (Documento 373 de la Cámara, octogésimo primer Congreso). El programa, presentado en 1949, delineaba por primera vez la extensión de la labor de protección de la vertiente hidráulica de la cuenca de un río principal y sugería que la labor se efectuara iniciándola en los sitios en donde los problemas eran más críticos y los habitantes estaban deseosos de cooperar para solucionarlos.

Ocurrieron entonces dos acontecimientos que influenciaron profundamente la política nacional. En 1949 y 1950 ocurrieron graves inundaciones en el este de Nebraska, que causaron graves daños y la pérdida de muchas vidas, y como consecuencia de ellas se formó la Asociación de la Vertiente Hidráulica de Salt Wahoo, que fue de las primeras asociaciones de esa clase que formulara un programa para una vertiente hidráulica. Una grave inundación en julio de 1955 en la cuenca del río Kansas enfocó la atención nacional a los esfuerzos para evitar inundaciones en esa área, y a ella siguieron varias investigaciones del Congreso y la creación de la Comisión de Investigaciones de la Cuenca del Missouri.

Las sesiones efectuadas en el medio Oeste por el Comité Agrícola de la Cámara en el otoño de 1951 indicaron la extensión del apoyo general a los programas de vertientes hidráulicas, y los comités llegaron a cuatro conclusiones:

Primera. Los programas para la conservación de tierras y aguas y su desarrollo corriente abajo están estrechamente relacionados, pero había una grave falla en nuestra manera de solucionarlos.

Segunda. La falla consistía en una falta de propósito en las actividades de las pequeñas vertientes hidráulicas. Existía una laguna entre los programas para la conservación de tierras y aguas en las granjas individuales y los grandes desarrollos de los ríos principales.

Tercera. El trabajo en las pequeñas vertientes hidráulicas puede seguir adelante sin tener que esperar al de las estructuras de los ríos principales.

Cuarta. La planeación y ejecución de programas y proyectos corrientes arriba debe ser un asunto cooperativo entre el Gobierno Federal, los Estados, los gobiernos locales y los mismos residentes. Cada uno de ellos, hasta donde sea posible, debe contribuir en forma equitativa a los costos, basándose en los beneficios que se esperen.

El octogésimo segundo Congreso introdujo una ley que comprende esas conclusiones.

La Comisión de Inspección de la Cuenca del Missouri (que incluía tres senadores y tres representantes del Congreso) efectuó en 1952 diecisiete sesiones públicas en la cuenca. Cierto número de asistentes criticaron el programa autorizado por el Congreso para la misma, alegando que no incluía un programa adecuado para la vertiente. La comisión recomendó que el Congreso autorizara proyectos para el manejo de la vertiente en varias partes de la cuenca, para demostrar la utilidad de los métodos de tratamiento de la tierra y conservación de aguas propuestos para aumentar la productividad y disminuir los daños de las inundaciones.

Más de mil organizaciones apoyaron en forma activa los esfuerzos para lograr un programa nacional de vertientes hidráulicas, y sus representantes entrevistaron a los comités del Congreso, al Secretario de Agricultura y al Presidente, para expresar sus opiniones.

En un mensaje dirigido al Congreso el 31 de julio de 1953, el presidente Eisenhower hizo notar la urgencia del programa de conservación y desarrollo de recursos que incluyera un programa para las vertientes hidráulicas, haciendo hincapié en una política de cooperación federal, estatal y local.

En la Ley de Presupuesto Agrícola para 1953, el Congreso incluyó una partida para la iniciación de programas-pilotos en las vertientes hidráulicas, y se iniciaron trabajos en 62 de esas vertientes.

El Congreso promulgó, en 1954, la Ley núm. 566 de Protección de Vertientes Hidráulicas y Prevención de Inundaciones, con algunas modificaciones de los proyectos anteriores, siendo de gran importancia el énfasis dado a las responsabilidades estatales y locales. La ayuda federal se limitó al auxilio de las organizaciones locales para iniciar los trabajos. La Ley de Control de Inundaciones de 1936 contenía el requisito de que los intereses locales proporcionarían los derechos de paso, así como la operación y el mantenimiento; pero en ella la iniciativa radicaba en el Gobierno Federal. En la nueva ley hubo un cambio de la iniciativa y responsabilidad federal para la selección, planeamiento, construcción y mantenimiento de los proyectos a una situación en que la parte principal de esa iniciativa y responsabilidad recae en el pueblo mismo y en sus propias organizaciones.

El Presidente reiteró y enfatizó esta política en las disposiciones y reglamentaciones prescritas el 18 de diciembre de 1954 para la administración de la ley, y la Secretaría de Agricultura la confirmó en su declaración de política de 14 de marzo de 1955.

La Ley de Protección de Vertientes Hidráulicas que se encuentran más allá de la capacidad de los agricultores individuales, pero que son necesarias para relacionar las medidas de conservación de la tierra y del agua tomadas por los agricultores con las relativas a la comunidad de la vertiente hidráulica, y llena las lagunas entre los programas individuales de granjas y las empresas de los grandes valles.

Prevé los trabajos de mejoramiento que tendrán mayor significado en las pequeñas vertientes cuando se hayan aplicado medidas de conservación de tierra en la mayoría de las granjas, y puede ayudar a las comunidades a la terminación de las estructuras y a la aplicación de medidas para la prevención de inundaciones, para los riegos y desagües, que se construirán por la comunidad. Sólo puede proporcionarse ayuda si los beneficios del proyecto exceden de su costo.

Las organizaciones locales deben solicitar los proyectos, deben participar en la planeación, financiamiento y construcción de los mismos y deben cuidar del mantenimiento de cualquier obra de mejoramiento que se ejecute de acuerdo con la ley. Esas obras serán proyectos locales con una participación federal y no proyectos federales con participación local.

LAS ORGANIZACIONES patrocinadoras locales deben presentar una solicitud, participar en el desarrollo de un plan de trabajo aceptable tanto para las organizaciones locales como para el Departamento de Agricultura, adquirir tierras, obtener permisos o derechos de paso, aceptar una proporción equitativa del costo de los proyectos, efectuar los trabajos de mejoramiento y celebrar contratos para la instalación de estructuras, hacer los

arreglos necesarios para su funcionamiento y mantenimiento, gestionar los derechos de agua que se necesiten, obtener el consentimiento para llevar a cabo programas de conservación de tierras de los propietarios que posean no menos de la mitad de las tierras en las áreas de desagüe arriba de las presas de retención, y cubrir cualquier gasto extra en relación con la inclusión de capacidad adicional de las estructuras para riegos u otros fines que no se relacionen específicamente con la prevención de inundaciones.

Una agencia estatal tiene la oportunidad de suministrar la dirección de los programas de desarrollo de vertientes hidráulicas. Varios estados han establecido comités de conservación de tierras, juntas de aguas, juntas de recursos naturales, departamentos de conservación u otras agencias que pueden llenar estos fines. Esas agencias pueden coordinar los programas hidráulicos, recomendar prioridades de ayuda y colaborar en los problemas técnicos y financieros. Pueden ayudar a la formación de organizaciones locales recomendando formas de ejecución y mantenimiento de esos programas.

Las solicitudes de ayuda de las organizaciones patrocinadoras deben ser sometidas para su revisión a la agencia estatal autorizada o al Gobernador, si no existe dicha agencia, antes de que el Departamento de Agricultura pueda proporcionar esa ayuda.

Los estados pueden exigir un examen de la legislación al amparo de la cual los intereses locales pueden llevar a cabo sus responsabilidades de acuerdo con la misma ley.

En muchos casos las responsabilidades locales pueden cubrirse mediante un esfuerzo de cooperación voluntaria que es esencial para el éxito, pero ciertas actividades son de tal naturaleza que sólo pueden llevarse a cabo por las agencias creadas bajo legislación estatal. La organización local debe estar debidamente autorizada por una ley estatal para ejecutar, mantener y operar trabajos de mejoramiento. Como primer paso para la obtención de ayuda, los agricultores de una vertiente hidráulica deben crear esa organización, si es que esa u otras organizaciones no existen. Sus funcionarios deben preparar y presentar una solicitud si desean ayuda federal. No habrá programa alguno, a menos que estén lo suficientemente interesados para hacer los esfuerzos necesarios para presentar la solicitud y dar las seguridades necesarias de que llevarán a cabo la parte que les corresponda en las inspecciones y participar en todas las fases de planeamiento.

Deben adquirir toda la tierra necesaria, permisos o derechos de paso. Los dueños de las propiedades en donde se instalarán las obras pueden ceder esos derechos de paso, ya que en otra forma sería necesario conseguir el dinero suficiente por medio de impuestos o en cualquier otra forma para llevar a cabo los requisitos que sean necesarios.

La organización local necesitará aportar dinero en efectivo o fondos en cualquier otra forma para la instalación de las mejoras antes de que puedan celebrarse los contratos relativos. Cuando las tierras, permisos o derechos de paso necesarios se consideran conjuntamente con los costos de construcción, las necesidades de dinero en efectivo pueden ser mayores en los primeros años del programa, por lo que se requerirá la autorización necesaria para solicitar créditos y establecer impuestos y contribuciones a fin de que la organización pueda llevar a cabo esa parte de su responsabilidad.

Las organizaciones locales tendrán la mayor parte de la responsabilidad en la celebración de contratos de construcción de obras de mejoramiento, pero contarán con ayuda técnica en relación con los desembolsos de fondos federales. Necesitarán hacer previsiones bien definidas en relación con las diarias decisiones correspondientes a la construcción, y hacer arreglos a satisfacción de la Secretaría de Agricultura para la operación y mantenimiento de las obras. Como el costo anual debe cubrirse durante cierto número de años, tendrá que haber un cuerpo legalmente responsable que acepte encargarse de esa responsabilidad.

Las organizaciones locales deben adquirir todos los derechos de agua que sean necesarios o proporcionar la certeza de que los terratenientes los han adquirido, y debe obtener todos los permisos reque-

ridos por las leyes estatales para la construcción de estructuras.

A fin de recibir ayuda, las organizaciones deben obtener la conformidad necesaria para llevar a cabo los trabajos de conservación de tierras que se recomienden, por lo menos en el 50% de la tierra en el área afectada por esos programas. Esto significa que prácticamente todo programa de vertiente hidráulica se instalará en cooperación con un distrito de conservación de tierras. Aun en caso de que cualquier otro tipo de distrito sea el patrocinador, será conveniente obtener el patrocinio de los distritos de conservación de tierras, a fin de asegurarse que el programa de conservación de tierras requerido tendrá el apoyo necesario.

LAS RESPONSABILIDADES de las funciones establecidas para las organizaciones locales podrían llevarse a cabo por los distritos locales bajo otros nombres, o por los condados, municipalidades u otras formas de gobiernos locales. Para simplificar la discusión emplearemos el término "distrito local", que incluirá las diferentes autoridades que sean necesarias.

El distrito local puede crearse por una legislatura local en cualquiera de las dos formas siguientes: La primera es una ley especial para cada uno de esos distritos, definiendo sus limitaciones y autoridad. La segunda consiste en una ley de capacitación general bajo la cual los habitantes de las diferentes localidades pueden establecer distritos bajo su propia iniciativa siguiendo los procedimientos establecidos.

EL SEGUNDO MÉTODO es más flexible y permite a los grupos locales organizar nuevos distritos o cambiar los linderos o autorización de los ya existentes sin necesidad de obtener legislación especial.

Si se da al distrito una autorización general para establecer impuestos y reglamentaciones que podrían afectar a casi todos los habitantes, los procedimientos requerirán que los habitantes de la localidad aprueben la decisión de organizarse y otras principales relativas a impuestos y reglamentaciones.

La ley dispone que las solicitudes deben referirse a vertientes hidráulicas que no excedan de 250,000 acres, pero pueden agruparse varias vertientes para su planeación. Las disposiciones no limitan el tamaño de las organizaciones locales y una de ellas podría patrocinar varias vertientes hidráulicas.

Las necesidades económicas hacen deseable contar con una base financiera adecuada para el distrito local. Independientemente de su tamaño, habrá que erogar muchos gastos generales, que en las organizaciones mayores constituirán una carga menos onerosa, pero puede perderse el interés comunal si la organización se hace demasiado grande.

En cualquier caso, los habitantes de la localidad y las organizaciones judiciales o administrativas a las que se dirijan las solicitudes, deben tener la autoridad suficiente para determinar el tamaño y límites de cada distrito. Deben seguirse los linderos naturales de las vertientes hidráulicas para la planeación de un programa, aunque se extiendan a través de los linderos de condados, municipalidades y otras unidades de gobierno.

Podrían expresarse los objetivos del distrito local como la prevención de inundaciones, manejo de aguas, desagüe y riego por medio de la conservación de la tierra y de la instalación de estructuras adecuadas.

El distrito local necesitará tener ciertas facultades amplias, incluyendo los derechos de celebrar contratos y acuerdos, demandar y ser demandados como corporaciones; adquirir, retener y vender bienes raíces y propiedades personales, ejercer la función de dominio eminente, aceptar donativos y concesiones de agencias estatales, federales y particulares, contratar y despedir empleados y fijar sus compensaciones, y establecer reglamentos para la ejecución de los negocios del distrito que no sean incompatibles con los fines del mismo y con las disposiciones de la ley relativa.

Una función importante del distrito local será la de trabajar conjuntamente con todas las agencias públicas y privadas cuyas actividades puedan influenciar dentro de sus propios límites la protección de las vertientes hidráulicas, la prevención de inundaciones, la conservación

de tierras, el desagüe y los riegos. Por lo tanto, gran parte del trabajo del distrito consistirá en la negociación de acuerdos con departamentos federales, agencias estatales, municipalidades y organizaciones locales tales como distritos de conservación, departamentos de carreteras, juntas de comisionados de condado, distritos de desagüe y represas y distritos de riego.

LA AUTORIDAD REGULADORA del distrito no se extenderá más allá de sus linderos, pero deberá tener el derecho de celebrar acuerdos con unidades gubernamentales fuera de sus límites, incluyendo las de otros estados. Los límites del distrito no deberán cruzar los linderos estatales, y cuando los linderos naturales de una área en proyecto o vertiente hidráulica abarquen más de un estado, puede ser conveniente la organización de distritos locales en cada Estado obteniendo una cooperación interdistrital.

El distrito debe estar autorizado para efectuar inspecciones y diseñar y construir obras de mejoramiento. De acuerdo con la ley, el Gobierno Federal proporcionará ayuda técnica y económica a las organizaciones locales para esas construcciones; pero el distrito local debe estar en situación de cooperar o de emprender cualquier trabajo que no se maneje por otras agencias.

Como hemos indicado, la operación y mantenimiento de las estructuras constituirá una función importante del distrito local. No sólo debe contar con la autoridad necesaria para hacer funcionar y conservar las obras que construya, sino que debe también operar, mantener, reparar, reconstruir y reemplazar la estructuras construidas con ayuda del Gobierno Federal y otras agencias. La autorización para imponer impuestos y contribuciones especiales es muy importante. Es probable que el distrito local tenga que financiar una gran parte de la contribución local al programa, ya sea por medio de impuestos generales establecidos sobre las propiedades que se encuentran en el distrito, o por medio de contribuciones especiales impuestas a las tierras que resulten beneficiadas. Las limitaciones legales de la autorización del distrito para establecer impuestos, fijarán los límites de la cantidad de trabajo que pueda efectuar el mismo.

La historia de los distritos de conservación de agua ha demostrado las ventajas de una combinación de impuestos generales y contribuciones especiales para un programa de desarrollo de recursos. Un acuerdo de esta calse consistiría en permitir cuotas de impuestos generales lo suficientemente altas para cubrir los gastos generales y de administración y una parte de los costos de inspección y planeamiento, así como para suministrar una reserva para mantenimiento.

Puede ser deseable también permitir (o aun exigir) que el distrito imponga un impuesto general adicional sobre propiedades para la disminución de la deuda en caso de incumplimiento de sus compromisos, lo que haría más atractivos sus bonos y garantías.

Probablemente una parte considerable de la contribución de los terratenientes individuales a los costos de instalación y mantenimiento de las estructuras mayores, se derivará de las contribuciones por beneficios especiales. Las contribuciones equitativas dependen de una evaluación exacta de los beneficios que se obtendrán en cada parcela de tierra. Deben prepararse procedimientos satisfactorios de evaluación y contribución en los beneficios de los programas de desagüe de vertientes hidráulica o de irrigación.

La junta directiva del distrito será responsable de la determinación de los beneficios. Podría establecerse una junta de evaluación para fijar las contribuciones, así como las evaluaciones para la adquisición de sitios, derechos de paso y permisos para las obras de mejoramiento.

Después de la determinación original de las contribuciones por beneficios, la junta distrital deberá efectuar una sesión pública, en la cual cada terrateniente afectado puede presentar su caso. La legislación estatal establecerá los requisitos para las notificaciones de la sesión y la forma en que la junta directiva certificará las contribuciones y listas de impuestos que se aprueben finalmente para que se hagan efectivas por los funcionarios del condado.

PUEDE HABER CUATRO TIPOS de obligaciones de crédito: Garantías expedidas

para el pago de facturas y registradas como anticipo de cobro de impuestos durante el año fiscal en curso. Bonos de obligación general que se redimirán de las entradas por concepto de impuestos generales sobre la propiedad durante cierto periodo de años. Garantías especiales de contribución y bonos, o ambos, y contratos de pago por una agencia federal o estatal.

El distrito local puede hacer mucho para controlar el uso de los recursos de tierras y aguas por medio de su autorización para contratar. En sus convenios con los terratenientes individuales, por ejemplo, el distrito podría exigir que se sigan ciertas prácticas o que se modifiquen ciertos usos de las tierras como condición para que el terrateniente reciba los beneficios obtenidos del programa. Esto requiere que las organizaciones locales obtengan la conformidad necesaria para llevar a cabo las medidas de conservación de tierras recomendadas y los planes aprícolas adecuados, de los dueños de no menos del 50% de las tierras situadas en el área de desagüe sobre cada presa de retención que se instale con ayuda federal. Los distritos de conservación de tierras en todo el país han tenido considerable experiencia con esos convenios entre distritos y agricultores, y de hecho esos convenios son el núcleo central de su programa. Pocos distritos, sin embargo, han intentado hacer cumplir esos acuerdos por medios legales.

Otra forma de proteger la inversión pública en obras de mejoramiento contra el uso inadecuado de las tierras de las vertientes hidráulicas arriba de las estructuras, consiste en el empleo de autorizaciones de reglamentación.

El Estado puede reglamentar el uso de la propiedad teniendo en cuenta la salubridad pública, la moral, la seguridad o el bienestar general. Esas facultades reglamentarias pueden delegarse por la legislatura de los estados a los gobiernos locales mediante una ley general que permita que la unidad local ejerza controles específicos, o por medio de leyes que faculten a las unidades locales para expedir ordenanzas de zonificación y reglamentaciones sobre el empleo de las tierras.

Sería de desearse que los distritos locales tuvieran ciertas facultades reglamentarias (por ejemplo, el control de los niveles de agua en las presas), y además que se concediera a los distritos la facultad opcional de promulgar ordenanzas de zonificación rural y de uso de tierras.

MUCHOS ESTADOS están estudiando el problema de cómo contribuir a la creación de distritos locales. Las dificultades principales consisten en saber si las leyes existentes son adecuadas, si sería más conveniente reformar ciertas leyes existentes o si son necesarias nuevas leyes. Un estudio de las actividades de las legislaturas estatales que se reunieron en 1955 no indica una aceptación clara de una forma definida para solucionar el problema. Unos cuantos estados han promulgado legislaciones relativas a las vertientes hidráulicas y a los distritos de control de inundaciones. Otros han reformado leyes existentes sobre distritos de desagüe, conservación de aguas y control de inundaciones. Algunos más han reformado la legislación existente en relación con los distritos de conservación de tierras. En relación con estos últimos, dos estados han dado los pasos necesarios para la creación de subdistritos de vertientes hidráulicas en los distritos de conservación de tierras. Varios estados no han tomado ningunas medidas, y en algunos otros se consideró más conveniente iniciar los programas bajo la legislación existente, mientras se resuelven los estudios pendientes sobre los cambios que se estiman necesarios.

HARRY A. STEELE *es jefe de la Sección de Tierras y Aguas de la Rama de Investigaciones sobre Economía de Producción del Servicio de Investigación Agrícola.*

KIRK M. SANDALS *es jefe de la Sección de Relaciones Federales, Estatales y Locales de Programas de Vertientes Hidráulicas, Rama de Planeamiento de Vertientes Hidráulicas, del Servicio de Conservación de Tierras.*

Las inundaciones, y un programa para remediarlas

Edwin C. Ford, Woody L. Cowan y H. M. Holtan

LOS DAÑOS PRODUCIDOS por las inundaciones han ido aumentando desde hace muchos años. La razón no consiste necesariamente en que hayan cambiado los volúmenes de inundación, sino en que ha aumentado el valor de las llanuras de inundación.

Ocurrían inundaciones antes de que se iniciara la ocupación de esta nación por el hombre; pero entonces las tierras bajas de los ríos y arroyos no estaban ocupadas con granjas y ciudades y los daños no se medían en vidas y en dinero. El problema de las inundaciones ha aumentado desde que hemos disputado el destino dado por la Naturaleza a ciertas tierras como avenidas de inundaciones, y nos hemos establecido a lo largo de las corrientes, construido servicios en sus riberas y dedicado a granjas las áreas adyacentes.

A medida que se desarrollaron e incrementaron las operaciones, instalaciones e inversiones, las llanuras de inundación se hicieron más y más importantes para nuestra economía nacional. Una gran proporción de las industrias localizadas en las mismas se consideran ahora como vitales para nuestra defensa, y más del 5% de nuestras tierras agrícolas se encuentran en las llanuras de inundación de los pequeños arroyos. Por lo tanto, en la actualidad una gran inundación en la mayoría de los valles y arroyos tributarios puede ser un desastre.

La importancia de una inundación depende de la proporción, duración y extensión de las lluvias, y de la condición de la tierra en la que caen. La lluvia en un sitio es mayor que el promedio de lluvias en una área considerable, es decir, hay centros de tormentas en los que la lluvia es mayor que en las áreas circunvecinas. El paso o dirección de movimiento de un centro de tormenta influencia grandemente la magnitud de cualquier inundación resultante. Las tormentas de gran intensidad generalmente son de corta duración, localizadas y ocurren en verano. Las llamadas lluvias generales cubren más territorio, pero son menos intensas y duran más que las tormentas de tipo de "aguacero".

Los flujos de las pequeñas áreas de desagüe responden más rápidamente a la intensidad de las lluvias que los flujos de las grandes áreas, debido a las distancias de flujo más cortas. Esto y la mayor intensidad de lluvias en las pequeñas áreas, causan máximos de inundación relativamente mayores por unidad de área en las pequeñas vertientes hidráulicas, y hace que esperemos inundaciones de esas pequeñas áreas durante los aguaceros de verano, e inundaciones de las grandes áreas durante las largas lluvias de la estación fría. Ocasionalmente una tormenta se moverá a lo largo de un sendero que sigue la dirección de desagüe de una extensa área, lo que hace que una serie de inundaciones de áreas pequeñas contribuya al flujo de la corriente principal.

Si la tormenta se mueve a una velocidad que cause flujos de inundación en varios pequeños tributarios y que lleguen a la corriente principal aproximadamente al mismo tiempo, puede ocurrir una inundación de importancia. La mayoría de las tormentas de verano quedan localizadas, o sus direcciones no coinciden con una gran área de desagüe para producir inundaciones de importancia, así que, en general, las inundaciones graves que cubren grandes áreas, ocurren ordinariamente durante las tormentas prolongadas.

LA PALABRA "inundación" no es sinónima de cierta proporción específica de flujo. Lo que puede considerarse como inundación en una sección de la corriente puede ser un flujo bien controlado en otra. La inundación resulta de una disminución en la capacidad del canal, debida a cualquiera de varias condiciones físicas, tales como reducción del gradiente, barreras al flujo, meandros o cambios de dirección, un canal mal definido o la sedimentación del mismo.

Podría inducirse la inundación en determinada sección por medio de las características del canal corriente arriba, que tienden a acelerar el flujo. Por ejem-

plo, la remoción de alguna barrera por la fuerza del flujo o el mejoramiento de las condiciones hidráulicas de una sección por medio del rozamiento, pueden acelerar el flujo en tal forma que las secciones subsecuentes corriente abajo no puedan transportarlo, y, por lo tanto, la sección inundada puede cambiar durante una serie de años de un lugar a otro a lo largo del lecho de una corriente que no es estable.

Las confluencias de los tributarios son áreas de inundación potenciales. Como ya se mencionó, el movimiento de las tormentas puede afectar el flujo de los tributarios y hacer que coincidan, resultando en una inundación de una tormenta local. En escala mayor, las obras de inundación en la confluencia del río Missouri con el Mississippi, al norte de St. Louis, Missouri, y del río Ohio con el Mississippi, en Cairo, Illinois, representan esfuerzos para controlar las inundaciones que ocurren cuando los máximos de los tributarios coinciden con los flujos máximos de la corriente principal.

Es raro que haya un año en que no tengamos una o más inundaciones desastrosas en cualquier parte de los Estados Unidos de Norteamérica. Esas inundaciones pueden afectar sólo una pequeña área o pueden ocurrir en las cuencas de los grandes ríos, como el Columbia, Missouri, Mississippi u Ohio. Los daños causados solamente a las tierras agrícolas por la gran inundación que ocurrió en la cuenca del río Missouri en la primavera de 1952, se calculan, aproximadamente, en 100 millones de dólares.

La cuenca del río Columbia sufrió la inundación más grave de su historia en términos de pérdidas monetarias en la primavera de 1948, inundando Vanport, Oregon, parte de Portland y otras ciudades, pueblos, empresas industriales y granjas, causando la pérdida de más de 40 vidas, dejando a 60,000 personas sin hogar, y causando daños a la propiedad que se calcularon en 200 millones de dólares.

Esa inundación fue el resultado de una precipitación extremadamente abundante durante los nueve meses anteriores, de las nevadas anormales en las montañas durante el invierno y la primavera, de una estación de primavera anormalmente fría, de la repentina llegada del tiempo cálido a toda la vertiente, comenzando el 17 de mayo, y de muchas tormentas con lluvias muy abundantes durante todo el mes de mayo en toda la vertiente hidráulica del río Columbia.

La precipitación extremadamente abundante y los excesivos mantos de nieve, sin los cuales no habría sido posible ese elevado flujo máximo, se acentuaron en la parte norte de la vertiente hidráulica del río Columbia. La parte de la vertiente que se encuentra en Canadá tuvo también una precipitación anormal y un exceso de mantos de nieve hasta inmediatamente antes de la inundación, aunque había muy poco o ningún exceso en la cuarta parte del área que se encuentra al Sur. Normalmente el flujo de la fusión de nieve de la parte sur de la vertiente, precede al máximo de los tributarios del Norte; pero ese año varios de esos máximos llegaron casi simultáneamente a la parte baja del río. Debido a las extensas inundaciones en los tributarios altos, podía predecirse fácilmente, y con bastante precisión, la fecha de la inundación en las secciones bajas. Sin embargo, ocurrieron grandes daños porque el hombre había invadido los fondos de los ríos con intensas utilizaciones industriales, residenciales y agrícolas, en la creencia errónea de que las tierras protegidas con diques se encontraban a salvo.

Se produjeron enormes daños en la tierra, y todas las indicaciones son de que esos daños excedieron a cualesquiera otros en la historia del hombre y de su desarrollo cultural.

Una inundación del río Kansas en 1951 causó pérdidas en los lechos de los arroyos y en las corrientes de los pequeños valles, arriba de los puntos en donde se habían recomendado obras importantes de control, estimándose esos daños en 112 millones de dólares. Se calcula que las pérdidas totales de la inundación fueron de 800 millones a 1 billón de dólares. Se inundaron alrededor de 35,000 casas, y durante el máximo de la inundación unas 250,000 personas tuvieron que abandonar sus hogares.

Las lluvias responsables de la inunda-

ción del río Kansas comenzaron a caer desde abril y continuaron a intervalos a través de junio, culminando en grandes aguaceros entre el 9 y el 13 de julio de 1951. Las lluvias en mayo tuvieron un promedio de 6.43 pulgadas, o sea 2.66 pulgadas más de lo normal.

Muchos de los arroyos de esa área llegaron a la etapa de inundación en mayo, y las crecientes repentinas de los pequeños tributarios causaron graves daños. Junio fue el mes más húmedo en 65 años de historia climatológica en Kansas, habiendo caído un promedio de 9.55 pulgadas, o sea 5.58 pulgadas más de lo normal.

Esas inundaciones fueron realmente muy graves y cada una de ellas constituyó un desastre de primera magnitud. Menos espectaculares son las muchas inundaciones que ocurren año tras año dentro de las aguas de los tributarios de nuestros ríos principales, pero causan daños totales mucho mayores.

Los cálculos preliminares indican que el promedio del total anual de daños causados por las inundaciones y los sedimentos en los Estados Unidos de Norteamérica, es de un poco más de un billón de dólares.

Este total varía de año en año. Durante la primera parte de 1948, se calculó que los daños causados por las inundaciones, incluyendo la de la cuenca del río Columbia, fueron menores de lo normal; pero en 1947, en las áreas altas del Mississippi, Missouri y sur de Georgia, excedieron grandemente de un largo promedio anual para todo el país.

Los cálculos preparados por el Servicio de Conservación de Tierras en 1952 indicaron que sólo la pérdida anual a la agricultura es aproximadamente de 557 millones de dólares. Los cálculos se prepararon con los estudios que cubrían 15 años y 77 vertientes hidráulicas, cuya área constituye aproximadamente el 52% del territorio continental de los Estados Unidos de Norteamérica.

Las pérdidas agrícolas debidas a las inundaciones son de varias clases. Daños a las cosechas y pasturas, daños a las tierras en forma de erosión de las llanuras de inundación, erosión de las riberas de los arroyos, producción de hondonadas y trincheras en los valles, desbordamiento baldío o depósito de sedimentos y formación de pantanos, daños a las construcciones de las granjas, vallados, carreteras, cosechas almacenadas, ganado, riegos y facilidades de desagüe y pérdidas indirectas tales como demoras en el trabajo de los campos e interrupciones o demoras en la venta de productos de las granjas.

Los estragos pueden dividirse en dos partes: los daños corriente arriba en los tributarios u orígenes de los ríos principales, y los daños que ocurren corriente abajo o en los valles principales de los ríos.

En general, el término "corriente arriba" se refiere a las áreas que se encuentran arriba de las estructuras principales, existentes o propuestas, para el control de inundaciones, y "corriente abajo" a las áreas que se encuentran abajo de esas estructuras.

Las pérdidas anuales corriente arriba se estiman, aproximadamente, en 545 millones de dólares, ocurriendo también pérdidas por sedimentación de 100 a 130 millones de dólares anuales.

Las pérdidas corriente arriba causadas por las inundaciones son mayores en los estados de los valles del Mississippi-Missouri. Las pérdidas son también muy grandes en la costa del Golfo, costa sur del Atlántico, río Arkansas, río Rojo y áreas orientales del Golfo.

En los estados de la costa del Pacífico y en los estados costeros del norte del Atlántico, los daños distintos de los causados a la agricultura son superiores a éstos. En la mayoría de las demás áreas de la Nación, los daños agrícolas exceden a los no agrícolas por un margen considerable.

Las inundaciones de los riachuelos y pequeñas corrientes tributarias ocurren más a menudo que las tormentas de más duración sobre las grandes áreas, que son necesarias para producir un flujo principal corriente abajo en un gran río. Una gran parte de los daños en los orígenes de las corrientes son resultado de inundaciones que ocurren más a menudo que una vez en 10 años. Como hay miles de esos arroyos originarios que desaguan

nuestras extensas regiones agrícolas, los daños causados anualmente por muchas de esas inundaciones constituyen un total muy alto.

Una parte principal de los daños en los valles donde se originan las corrientes es de carácter agrícola, constituyendo casi el 70% del promedio total anual de esos daños. Los daños a las cosechas en crecimiento y a las pasturas, constituyen, aproximadamente, el 45% del total. Los daños ocasionados a la tierra son de importancia desde el punto de vista del total de nuestros recursos agrícolas, porque la tierra de las llanuras de aluvión de inundación de los arroyos y ríos generalmente es muy productiva, y con un grado razonable de protección contra las inundaciones, continuará siéndolo por muchos años más. El daño a la propiedad agrícola en las áreas corriente arriba llega aproximadamente al 15% del promedio total anual.

Los daños anuales en los valles de los ríos principales se calculan, aproximadamente, en 500 millones de dólares, de los cuales más o menos 165 millones corresponden a daños agrícolas. Los daños anuales por sedimentación corriente abajo son, aproximadamente de 28 a 30 millones de dólares, y esos daños en su gran mayoría no son agrícolas.

SE HA SUMINISTRADO una gran cantidad de protección en los valles de los ríos principales por medio de represas y muros de retención de inundaciones, mejoramiento de los canales y grandes presas. Si no fuera por esa protección, los daños corriente abajo serían mucho mayores de lo que son en la actualidad.

La división de los daños de las inundaciones en áreas corriente arriba y corriente abajo es indicación de dos problemas principales, el de disminuir los daños causados por las inundaciones en las aguas originarias corriente arriba y el de proporcionar protección en los valles de los grandes ríos corriente abajo con sus altas concentraciones de riqueza y población.

Como gran parte de los daños ocurren en los valles de las corrientes originarias que afectan a la agricultura y a los intereses agrícolas, debe darse mayor énfasis a la protección de las vertientes hidráulicas y a la prevención de inundaciones en esas áreas.

La protección contra las perjudiciales inundaciones es una responsabilidad federal reconocida, de interés nacional, porque las inundaciones afectan directa o indirectamente a todos los habitantes. Se requiere un esfuerzo conjunto y coordinado federal, estatal y local, a fin de disminuir los estragos de los daños causados por las inundaciones.

¿Podría una utilización diferente de la tierra haber modificado o evitado la inundación de Kansas de 1951? Se debió en gran parte a excesivas cantidades de lluvia que cayeron en tierras que se encontraban saturadas de agua. Los pequeños tributarios en creciente contribuyeron a aumentar y desbordar los canales principales tan rápidamente que las aguas de inundación no pudieron desviarse. La mejor forma de utilización de la tierra habría tenido escasos efectos en una inundación de ese tipo.

Hay diversos factores que determinan la parte que tiene el tratamiento de la tierra en la prevención de inundaciones. En primer lugar, están los factores que causan esas inundaciones, los que el hombre no puede controlar o cambiar, el clima, la lluvia, la geología, la topografía, el tamaño y forma de las vertientes, y después, los que el hombre puede controlar.

Los factores que pueden ser cambiados por el hombre son pocos pero importantes y comprenden su propia utilización de la tierra, lo que el hombre hace a la tierra y a la vegetación que produce, o, sencillamente, el tratamiento de la tierra, que significa las medidas vegetativas y sencillamente mecánicas que conservan la tierra y el agua, que aumentan la proporción de absorción de agua por la tierra y que mejoran su capacidad de almacenamiento. Esas medidas incluyen la labranza de contornos, la rotación de cultivos, el arado de contornos y bordos, la siembra en hileras, los abonos verdes, las cosechas de cobertura, las terracerías niveladas, la resiembra, el debido cuidado de las praderas y pasturas, la reforestación, la protección de las selvas y bosques, las prácticas de manejo, y otras medidas estructurales de menor im-

portancia, tales como la obstrucción de hondonadas, desviaciones, salidas de desviación y estabilización de pendientes.

Sin embargo, para obtener una protección más completa de las vertientes, esas medidas deben suplementarse o combinarse con estructuras para el retraso y la disposición de las aguas en las vías de desagüe de las granjas, a lo largo de las carreteras y en las corrientes más pequeñas.

Esta segunda categoría de medidas se planea primordialmente para el manejo del flujo hidráulico, después de que ha dejado los campos y canales de las granjas y llegado a los pequeños ramales y arroyos. Incluye las estructuras que retrasan el flujo del agua, el mejoramiento de los canales de las corrientes para aumentar su capacidad de transportación y estabilizar los lechos y paredes, pequeños vertederos, depósitos de retención de sedimentos y otras medidas semejantes. La característica distintiva de este grupo de medidas es que sus beneficios primarios se obtienen fuera de sitio o corriente abajo, y no en los lugares en donde se instalan. En cierto sentido esos beneficios primarios son públicos, porque se suman a los que reciben otros agricultores, pueblos, caminos, etc., corriente abajo de donde se instalaron las estructuras.

Algunas de las medidas que son necesarias para la estabilización de las tierras de una vertiente hidráulica son muy complejas para que se lleven a cabo por los terratenientes, o sus beneficios serán tan largamente diferidos que no es razonable esperar que muchos agricultores las efectúen sin ayuda alguna. Por ejemplo, las estructuras de concreto reforzado necesarias para estabilizar las grandes hondonadas, requieren todos los elementos de planeación, diseño y supervisión de construcciones que serían necesarios para una presa importante de control de inundaciones. Los beneficios de este tipo de control de hondonadas se reciben primordialmente en las tierras de las vertientes hidráulicas que quedarían destruidas por el continuo desarrollo e incremento de esas mismas hondonadas, y esas tierras pueden quedar en granjas que se encuentren arriba de la desembocadura de las hondonadas. Aunque económicamente justificables desde el punto de vista del interés público, es más eficiente y económico que esas instalaciones se lleven a cabo por agencias gubernamentales bajo convenios precisos de mantenimiento.

Las medidas destinadas primordialmente a la prevención de inundaciones, tales como las estructuras de retraso y el mejoramiento de los canales, rara vez pueden llevarse a cabo por los terratenientes individuales, ya que requieren una acción de grupo, un planeamiento técnico especializado y un financiamiento gubernamental o de empresas.

Durante veinte años el Gobierno Federal ha estado llevando a cabo programas de ayuda para los terratenientes individuales y operadores, para el establecimiento y aplicación de medidas de conservación que se aplican a los objetivos primarios de prevención de inundaciones, tales como el aumento de la infiltración de las lluvias y de la capacidad de retención de agua en la tierra. Esos programas se han llevado a cabo bajo autorizaciones nacionales tales como la Ley de Conservación de Tierras de 1935. Bajo esa ley, el Servicio de Conservación de Tierras, por ejemplo, proporcionó en 1951 ayuda técnica a casi 2,600 distritos de conservación de tierras, que incluyen el 84% de las tierras agrícolas de la nación. Hasta el 30 de junio de 1954, 1.454,000 agricultores y rancheros, que manejaban 423.690,000 acres de tierra, habían cooperado con los distritos.

Además, la Administración de Producción y Mercados, por medio de sus programas de conservación agrícola, ha estado dando ayuda en más de 3,000 condados agrícolas, cubriendo parte del costo de aplicación de medidas de conservación.

Una gran parte, si no la principal, del trabajo efectuado bajo estos programas, ha ayudado a evitar las inundaciones.

Sin embargo, el Gobierno Federal ha logrado muy poco hasta la fecha para ayudar a la aplicación de medidas tendientes a la estabilización de las vertientes hidráulicas y prevención de inundaciones, que quedan más allá de las posibilidades de los terratenientes individuales y de los operadores, ya sea porque son muy complejas o muy costosas para un solo individuo, o porque producen be-

neficios que quedan principalmente fuera de sitio, o que son a largo plazo.

Como casi el 56% de los daños actuales anuales causados por las aguas de inundación y los sedimentos ocurren en los valles de los arroyos originarios, y como gran parte de esos daños son de carácter agrícola y afectan principalmente los intereses agrícolas, parece que debe darse mayor énfasis a la prevención de inundaciones y daños por la sedimentación corriente arriba.

Las aportaciones federales han proporcionado, aproximadamente 63 dólares para el control de inundaciones en las corrientes principales por cada dólar empleado en la prevención de inundaciones corriente arriba. Se necesita un programa relacionado tripartita, a cada parte del cual se daría la debida consideración en términos de asistencia pública, coordinándose con los demás programas hasta donde fuera posible. Esos tres puntos serían los siguientes:

Tratamiento de la tierra. El tratamiento de la tierra incluye el cultivo de contornos, las terracerías, las rotaciones mejoradas, las cosechas de cobertura, el menor manejo de las praderas, tierras boscosas y muchos otros. Esas medidas, combinadas debidamente, ayudarán a evitar la erosión, conservarán la fertilidad de la tierra, conservarán el agua almacenándola en la tierra, evitarán daños a las granjas debidos a la acción erosiva de las lluvias y del desbordamiento, y disminuirán las cargas de sedimento de los arroyos y ríos. Los terratenientes están adoptando rápidamente las medidas de tratamiento de la tierra, de acuerdo con los programas de los distritos de conservación de tierras y con la ayuda técnica del Departamento de Agricultura, así como con la ayuda educacional y financiamiento directo de otras fuentes. Sin embargo, hay que incrementar esa proporción de aplicación para obtener una protección más rápida de las áreas de las vertientes hidráulicas.

Retraso del flujo de agua corriente arriba y estabilización de canales. Esta fase del mejoramiento de las vertientes hidráulicas comprende trabajos en los tributarios y corrientes menores de agua para controlar o retardar el desbordamiento de las granjas vecinas, que incluye pequeñas estructuras de retraso, obras de estabilización de hondonadas y mejoramiento de canales que se instalan principalmente por contrato para aliviar los daños a la agricultura, y a las obras rurales de mejoramiento de las vertientes más pequeñas arriba de los trabajos de ingeniería corriente abajo. Estas medidas retrasan el desbordamiento y estabilizan las fuentes de sedimento en los canales corriente arriba. Representan operaciones adicionales de control de agua a las que se hacen ordinariamente por medio de obras de conservación de tierras de granjas. Este tipo de trabajo se está efectuando actualmente en unas cuantas vertientes por el Departamento de Agricultura, ayudando a las agencias locales y a los agricultores individuales.

Medidas de control del flujo corriente abajo. Los grandes depósitos y las represas construidas en las principales corrientes de agua controlan el flujo de las inundaciones en los valles de los ríos principales. Esas medidas alivian los daños urbanos y agrícolas causados por las inundaciones principales en la porción inferior de los ríos más importantes.

Este programa de tres fases implica un esfuerzo coordinado para la prevención y control de inundaciones, es un programa que protege tanto a los agricultores o rancheros de las tierras altas como los de las tierras bajas, y a las tierras inferiores corriente arriba como a las ciudades que se encuentran corriente abajo.

ERWIN C. FORD *es economista agrícola de la Rama de Planeación de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Conservación de Tierras del Departamento de Agricultura.*

WOODY L. COWAN y H. N. HOLTAN *son hidrólogos de la Unidad Técnica Central de la División de Ingeniería del Servicio de Conservación de Tierras del Departamento de Agricultura en Beltsville, Maryland.*

Las posibilidades del tratamiento de la tierra para la prevención de las inundaciones

Howard O. Matson, William L. Heard, George E. Lamp y David M. Ilch

EN LA MAYORÍA DE LOS VALLES tributarios, del 75 al 90%, o más, de las pérdidas causadas por las inundaciones, se deben a tormentas relativamente pequeñas que ocurren en promedio una vez cada diez años, o más a menudo.

Si pudiera reducirse el desbordamiento en los valles tributarios a que ocurriera no más de una vez en diez años, el riesgo de los daños debidos a las inundaciones no sería mayor, en general, que cualesquiera otros riesgos agrícolas, tales como la sequía, el granizo, las heladas tempranas, el rayo y las plagas, riesgos que el agricultor acepta un año tras otro. A menudo, el solo tratamiento de las tierras, aunque aumentado generalmente con pequeñas estructuras que retrasan el flujo hidráulico y con el mejoramiento de los canales de las corrientes, pueden proporcionar la suficiente protección contra inundaciones en las áreas donde se originan las aguas, para disminuir el riesgo a la proporción de los demás riesgos naturales a que se enfrenta el agricultor.

Ocurre generalmente una inundación producida por una tormenta cuando se desarrolla un centro de intensa lluvia en la parte central de una vertiente hidráulica, o cerca de ella. Los centros de lluvias intensas se mueven ordinariamente a razón de 15 a 25 millas por hora, y si la dirección de una tormenta es hacia abajo de una vertiente hidráulica, se aumenta grandemente la severidad de las inundaciones. La precipitación máxima durante una tormenta rara vez es mayor de 12 a 15 pulgadas, aunque se tiene conocimiento de precipitaciones de 30 pulgadas en menos de 24 horas.

Las inundaciones de gran magnitud en los ríos principales sólo se producen debido a tormentas generalizadas que persisten durnte varios días. Cuando esas tormentas ocurren a fines de primavera, el volumen de inundación puede aumentarse con la fusión de las nieves.

La frecuencia y gravedad de las inundaciones son mayores en las regiones cercanas al Golfo de México, en donde las intensidades de las lluvias son generalmente más elevadas que en otras regiones. Esas intensidades disminuyen gradualmente al norte del Golfo, y son mayores sobre las regiones orientales y centrales de los Estados Unidos de Norteamérica que en el territorio comprendido entre las Grandes Llanuras y la Sierra Nevada.

Puede haber otros factores de importancia, pero la frecuencia de las inundaciones se relaciona generalmente en forma directa con la frecuencia y características de las tormentas. Otro factor es la relación de la capacidad del canal de una corriente al tamaño del área de su vertiente. En la vertiente hidráulica de Sandstone Creek, al oeste de Oklahoma, típica de muchos pequeños arroyos en aquella área, un volumen de desbordamiento igual a un cuarto de pulgada de lluvia del área de la vertiente fue suficiente para causar una creciente bajo condiciones normales. Como resultado, las inundaciones ocurren en un promedio de más de nueve veces al año.

Las lluvias que caen antes de que una tormenta potencialmente productora de inundaciones afecte la humedad de la tierra y, por lo tanto, la proporción y volumen del desbordamiento que pueda resultar de las tormentas de inundación que sigan. Cualquier lluvia real anterior, generalmente más de media pulgada en 24 horas, dentro de los diez días anteriores a una tormenta que pueda producir inundaciones, tiene ordinariamente una gran significación para limitar el almacenamiento de la tierra cuando ocurre la tormenta. La cantidad de lluvia previa que puede considerarse efectiva, sin embargo, varía de un lugar a otro y de una estación a otra, por lo que la ocurrencia de un antecedente efectivo de lluvia puede ser un factor significativo para disminuir la eficacia del tratamiento de la tierra.

Generalmente el tratamiento de la tierra es más eficaz para disminuir el desbordamiento debido a lluvias continuas

de intensidad moderada, y tiene menos efecto en las proporciones y volúmenes de desbordamiento que resultan de las tormentas intensas de poca duración. Por ejemplo, Ral. W. Baird, supervisor de proyectos de la vertiente hidráulica experimental de Blacklands, cerca de Waco, Texas, informó que las prácticas de conservación han disminuido apreciablemente las proporciones máximas de desbordamiento y que esa reducción es relativamente constante en cantidad, y es aproximadamente de 0.5 de pulgada por hora. Esto significa que una proporción máxima de desbordamiento de una pulgada por hora disminuiría a 0.5 de pulgada, pero que una proporción máxima de desbordamiento de 3 pulgadas por hora se reduciría solamente a 2.5 pulgadas por hora.

EL TAMAÑO Y FORMA de las vertientes hidráulicas son características permanentes que influencian principalmente la concentración o tiempo de distribución del desbordamiento de una vertiente. El tamaño y forma de las vertientes hidráulicas afecta grandemente la recolección y descarga del flujo de las corrientes. El desbordamiento superficial de algunas vertientes se junta y se descarga rápidamente y en otras ese desbordamiento superficial se demora por más tiempo y se descarga más lentamente. Parte de esta influencia se debe a las características de la tierra. A medida que las vertientes hidráulicas aumentan de tamaño, se vuelven más complejas en relación con sus condiciones de declive, topografía, tierra y cobertura vegetativa. Muchas características de flujo de corrientes se relacionan, ya sea directa o indirectamente, con las características topográficas que no pueden modificarse grandemente con el tratamiento de la tierra.

Los declives acentuados tienen generalmente una capacidad limitada de almacenamiento de la tierra, y, por lo tanto, la descarga ordinariamente es muy rápida. Esto es especialmente cierto en los declives cortos y acentuados. El desbordamiento de un largo declive es ordinariamente más lento, pero dura más después de que cesa la lluvia. El efecto del declive varía con la proporción y duración de las lluvias. Durante los periodos de lluvias intensas y prolongadas, cuando ordinariamente el desbordamiento se hace constante, el efecto del declive es menos pronunciado; pero ocurre generalmente lo contrario durante tormentas de corta duración. Lo escarpado de los declives es frecuentemente un factor limitativo en la aplicación de medidas de tratamiento de la tierra que sean eficaces para disminuir el desbordamiento.

El retorno de la tierra a sus condiciones prístinas originales, a fin de alcanzar el control natural óptimo del agua, no es práctico ni deseable. La tierra debe considerarse como está ahora y como se usa actualmente, y en ese estado debemos tratar de conservar o mejorar su capacidad productiva, así como sus funciones hidrológicas para la prevención de inundaciones. Como debe continuar usándose y como está compuesta de un número complejo de elementos, habrá ciertas limitaciones reales para llegar al máximo de que la tierra es capaz en relación con la disminución del desbordamiento y la erosión.

Se han ideado varios medios para proteger la tierra cultivada mientras se continúan obteniendo cosechas. Las tierras escarpadas cultivadas han sido preparadas por medio de terracerías, en vez de sembrar simplemente las cosechas en los declives naturales. Se acepta actualmente que el cultivo de contornos es mucho mejor que el cultivo hacia arriba y hacia abajo de un declive. El cubrir con rastrojo, el enterrar los residuos de las cosechas en la tierra y varias otras formas de añadir material de plantas a la superficie de la tierra, son prácticas aceptadas actualmente que estabilizan la tierra y mantienen su capacidad de absorción de agua. El cambio periódico de cosechas de cultivos limpios a densas coberturas de plantas, es muy eficaz para disminuir los efectos erosivos de las fuertes lluvias. El interrumpir la longitud de los declives arados con hileras de terrones es también muy útil para disminuir las pérdidas de tierra. Se usan el arado en hileras, la siembra en fajas, los abonos verdes, las cosechas de cobertura y otras prácticas semejantes para preparar la tierra, a fin de que absorba mejor el agua, al mismo

tiempo que se usa para la producción de cosechas alimenticias.

Las conclusiones derivadas de los estudios de rotación de cultivos efectuados en varias partes del país, indican que generalmente se disminuye el desbordamiento superficial y la erosión hasta en un 50% mediante rotaciones que incluyan uno o más años de siembra de vegetación que crezca muy apretada, si se les compara con tierras que se dediquen continuamente a cosechas de surco, y que ocurre la mayor disminución cuando esas rotaciones son de henos o cosechas de pastura. En algunos casos las cosechas de surco cultivadas en rotación causaron tanto desbordamiento superficial y erosión como si se hubieran cultivado en forma continua.

El cultivo en fajas parece tener menos efecto en la disminución del desbordamiento superficial que el cultivo por medio de rotaciones, pero generalmente disminuye la erosión en forma considerable. Las fajas de densa vegetación filtran la tierra del agua de desbordamiento que penetra en ellas desde arriba y protegen la tierra de ellas contra la erosión. El cultivo de fajas parece ser una práctica mejor que la rotación para el control de la erosión. Para obtener un control adecuado del desbordamiento superficial debe suplementarse el cultivo de fajas con otras medidas de control.

El cultivo de contornos ha disminuido el desbordamiento causado por las lluvias de poca o mediana intensidad hasta en un 80%, cuando se ha comparado con el desbordamiento superficial de campos semejantes que se han arado hacia arriba y hacia abajo del declive.

Los cambios en la composición y densidad de la cubierta de forraje se deben sólo en parte al consumo del mismo por el ganado. Igualmente importante es el efecto de hollado de la tierra por los animales. Esa práctica tiene un efecto directo sobre la capacidad de infiltración de la tierra, porque las pezuñas de los animales vuelven la tierra más compacta y menos susceptible de absorber el agua. Generalmente un uso intenso causa más serios disturbios en la tierra que uno moderado, y en cualquier caso los efectos de ese uso se modifican considerablemente por la contextura y contenido de humedad de la tierra. Las tierras secas y arenosas se afectan muy poco al hollarse, ya que sólo quedan ligeramente comprimidas. A medida que la contextura de la tierra se vuelve más fina y que su humedad aumenta, se hacen más pronunciados los efectos de la consolidación causada por las pezuñas de los animales.

El tratamiento de las praderas y pasturas para disminuir el desbordamiento superficial y la erosión y para conservar la cobertura de plantas de forraje para uso del ganado, puede conseguirse en varias formas. En algunas áreas puede mejorarse la calidad y densidad de los forrajes disminuyendo el número de animales que pastan, o excluyendo totalmente el ganado durante varios periodos de tiempo. A menudo se mejoran las condiciones del forraje mediante la siembra, que proporciona una cubierta adicional que protege la tierra. El cultivo y la fertilización de la tierra en el Oeste han sido muy eficaces para rehabilitar las praderas y pasturas exhaustas, con la consiguiente disminución del desbordamiento y la erosión.

El pastado intenso de muchas tierras de praderas occidentales ha aumentado el desbordamiento superficial y la erosión, y ha causado a menudo crecientes repentinas más frecuentes, aumentando los daños a las tierras bajas y la rápida sedimentación de las presas. Esos efectos han quedado claramente demostrados mediante la comparación de tierras semejantes pastadas intensamente, en forma moderada o que no han sido pastadas. La exclusión total del ganado durante periodos definidos es eficaz, tanto para mejorar las condiciones de los forrajes como las hidrológicas de ciertas áreas occidentales.

El pastado de áreas boscosas en el Este no es compatible con un buen control del desbordamiento superficial y de la erosión, especialmente en tierras onduladas. El hollado consolida la tierra disminuyendo la proporción en que puede absorber agua, y el ramoneo destruye la cubierta protectora de la tierra suministrada por el crecimiento pequeño y tierno, y aumenta su susceptibilidad a la erosión. Las legumbres y hierbas de terrón que constituyen la mayor parte del forraje en

las regiones húmedas, protegen bien la tierra contra la erosión si el pastado no es muy intenso.

Los estudios hechos en el Bosque Experimental de Coweeta, en North Carolina, muestran los siguientes efectos de los disturbios de la explotación maderera en las escarpadas vertientes hidráulicas montañosas: "...Durante un periodo de 4 años se perdieron 6,850 yardas cúbicas de tierra en 2.3 millas de carretera. Durante las tormentas, la turbieza de las corrientes en el área de explotación maderera llegó a un máximo de 7,000 partes por millón, comparada con 80 partes por millón en el área de control en donde no había cortes... Los desbordamientos repentinos de las carreteras han duplicado también los máximos de inundación. Aunque el área de explotación maderera está todavía cubierta de árboles y producirá otra cosecha de madera, la calidad de sus aguas y su producción de sedimento son más típicas de los campos de maíz de las colinas que de los bosques."

El tratamiento de la tierra en las áreas de selvas y bosques puede encaminarse a aminorar los efectos perjudiciales que resultan de las operaciones de recoger una cosecha de madera. No se conocen métodos prácticos por medio de los cuales puedan usarse las tierras forestales para producción de madera y que contribuyan al mismo tiempo, en forma apreciable a retrasar el flujo de agua y a prevenir la erosión. Es posible mejorar las funciones hidrológicas de muchas de las extensiones actuales de tierras y bosques y restablecer un crecimiento protector de árboles en muchos acres de tierras deterioradas de cultivo de cosechas y pasturas que ya no son utilizables para esos fines.

EL OBTENER un tratamiento de la tierra que sea eficaz para la prevención de inundaciones, no es solamente una cuestión de dinero, ya que los fondos ilimitados no producirán esos resultados sin la cooperación total y voluntaria de los terratenientes y operadores. Puede alcanzarse esa cooperación una vez que el usuario de la tierra se dé cuenta de que el control de la erosión y del agua en la tierra significa también mejores cosechas, un manejo más fácil para él y una disminución de las inundaciones y sedimentación corriente abajo.

HOWARD O. MATSON *encabeza la Unidad de Planeamiento e Ingeniería de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Conservación de Tierras en Forth Worth, Texas. Ha sido miembro del Servicio de Conservación de Tierras desde su creación en 1935.*

WILLIAM L. HEARD *ha sido miembro del Servicio de Conservación de Tierras desde 1935, siendo subconservador estatal del Servicio de Conservación de Tierras en Mississippi.*

GEORGE E. LAMP *es conservador de área del Servcio de Conservación de Tierras en* Sioux *City, Iowa, habiendo tenido una amplia experiencia en ingeniería con el Ferrocarril de Rock Island y la Comisión de Carreteras de Iowa, antes de entrar al Servicio en 1935.*

DAVID M. ILCH *es subjefe de división de los Programas de Prevención de Inundaciones y de Cuencas de Ríos del Servicio Forestal en Washington, habiendo tenido más de 24 años de experiencia en el Servicio Forestal sobre cuidado de vertientes hidráulicas.*

La tierra helada y las inundaciones de primavera y de invierno

Herbert C. Storey

CONJUNTAMENTE con las abundantes lluvias y la rápida fusión de las nieves como causa de las inundaciones en invierno y a principios de primavera, debemos considerar la tierra congelada.

Examinemos primeramente, sin embargo, algunas creencias erróneas sobre la ocurrencia, características y efectos de la tierra congelada. Muchas personas creen que si persisten las temperaturas inferiores al punto de congelación por algún tiempo, la tierra se congelará uniformemente en grandes áreas, o que una vez que la tierra se hiela se vuelve impermeable y permanece congelada hasta los deshielos de primavera. Hay cierta parte de verdad en esas ideas: Es cierto que

si las temperaturas permanecen bajo el punto de congelación por algún tiempo, algunas tierras comienzan a congelarse. Es también cierto que la congelación de ciertas tierras impide la infiltración, y es igualmente cierto que algunas tierras permanecen congeladas durante todo el invierno.

La congelación de la tierra es un factor hidrológico de importancia en algunas regiones de los Estados Unidos de Norteamérica, en las que prevalecen las bajas temperaturas en invierno y el manto de nieve es ligero. Su límite Sur es una línea que se extiende desde la vecindad de la ciudad de New York hacia el Sudoeste, a través de New Jersey y Pennsylvania, y al Oeste, a través del sur de Ohio, Indiana e Illinois hasta la parte superior de Missouri y Kansas, siguiendo luego hacia el Sudoeste hasta las Montañas Rocallosas en la parte inferior de Colorado, hacia el norte a lo largo de la orilla oriental de las mismas Rocallosas hasta el sur de Wyoming, hacia el Oeste hasta la parte nordeste de Utah y la parte sudeste de Idaho, y luego nuevamente al Este y Norte a lo largo del frente oriental de las Montañas Rocallosas hasta Wyoming y Montana. Otra zona, separada del área principal por la parte norte de las Montañas Rocallosas, incluye la cuarta parte oriental de Washington y una pequeña parte del nordeste de Oregon.

La tierra se congela ocasionalmente al sur de esa línea, pero esa congelación es intermitente en su mayoría (congelándose por las noches y deshelándose durante el día) y sólo rara vez es de gran importancia hidrológica.

Cuatro características de la tierra congelada afectan su participación en las inundaciones. Su estructura determina que tan rápidamente pueden penetrar en la tierra las lluvias o la nieve en fusión. La profundidad de penetración de la congelación de la tierra determina que tan rápidamente desaparece esa congelación durante los deshielos. La persistencia de la congelación de la tierra determina el que ésta permanezca congelada durante los periodos de fusión de las nieves. La extensión de la congelación de la tierra indica la porción de una vertiente hidráulica que podría resultar afectada.

Empleamos cuatro términos para describir la estructura de la tierra congelada: Concreta, de panal, de estalactitas y granulada.

La estructura concreta de congelación tiene muchos delgados lentes de hielo y pequeños cristales, y es extremadamente densa. Ocurre ordinariamente en tierras congeladas previamente y que se han deshelado, o en tierras consolidadas por una lluvia abundante. Es más común en las tierras desnudas o en aquellas con escasos mantos de vegetación, y ordinariamente se asocia con la congelación a gran profundidad.

La congelación de tipo de panal tiene una estructura suelta y porosa que se desmorona fácilmente. Se encuentra ordinariamente en donde la congelación es superficial, generalmente a principios de invierno y cuando las tierras de gran contenido orgánico quedan extremadamente aglomeradas.

La estructura de congelación de estalactitas tiene muchas pequeñas estalactitas que conectan la superficie levantada con la tierra debajo de ella. Esas estalactitas consisten en pequeñas columnas que a menudo se funden parcialmente en mantos o bloques de contextura suelta. La congelación de estalactitas se forma a menudo durante la recongelación de una estructura de panal parcialmente deshelada.

La congelación granulada consiste de un conjunto suelto y poroso de pequeños gránulos o cristales de hielo esparcidos a través de la tierra. Ocurre ordinariamente como congelación superficial en tierras con alto contenido de materia orgánica. A menudo la congelación granulada precede a la formación de la de panal y se puede atravesar fácilmente con una pala o barrena y romperla en pedazos.

La penetración de congelación expresa la profundidad de congelación de la tierra. La penetración profunda se asocia con una congelación densa e impermeable y con una larga persistencia, y, por lo tanto, tiene importancia como indicador de estructura, persistencia y extensión.

La persistencia es una característica im-

portante, porque si una estructura de congelación de tipo impermeable continúa durante el periodo de fusión de las nieves, el desbordamiento será muy elevado. Aun si la congelación se ha fundido en parte desde la superficie, se impedirá o retardará el movimiento hacia abajo del agua a través de la tierra hasta que la congelación desaparezca.

La extensión de la congelación impermeable es un índice importante de la forma en que una vertiente hidráulica responderá a una tormenta o periodo de fusión de nieves. Una vertiente hidráulica cuyas tierras estén congeladas en forma concreta casi en un 100%, producirá un desbordamiento más elevado durante una tormenta que otra en la cual sólo el 25% de sus tierras estén congeladas, aunque la penetración de la congelación en esta última puede ser mayor que en la primera.

LA ESTRUCTURA de la congelación tiene mucho que ver con la capacidad de infiltración invernal de las tierras. Las tierras congeladas en forma concreta son relativamente impermeables, pero las demás estructuras de congelación parecen tener poco efecto en el movimiento del agua en la tierra y a través de ella. Una cantidad tan pequeña como una pulgada de congelación concreta impide la infiltración de las lluvias o de las nieves en fusión.

El efecto de la congelación de la tierra para retrasar la filtración es mayor en las tierras de contextura pesada que en las tierras livianas. Cuando ocurre una congelación concreta durante los periodos de tormentas, se produce un desbordamiento superficial que a menudo es el 100% de la precipitación. Las mediciones efectuadas durante un periodo de inundaciones en marzo de 1936 en el sur de New York, demostraron que el 100% de las lluvias se desbordó sobre los campos desnudos congelados en forma concreta, mientras que ocurrió muy poco o ningún desbordamiento en las tierras vecinas no congeladas y cubiertas de bosques.

Las mediciones llevadas a cabo en 1951 cerca de Cohocton, New York, demostraron que el desbordamiento de tres pequeñas vertientes hidráulicas cultivadas se relacionaba directamente con la extensión del área congelada en las tierras. En una área de desagüe en la que el 25% de la misma se encontraba congelado durante el periodo de fusión, el desbordamiento llegó a 12% del total de lluvias y aguas de la fusión de las nieves. En las áreas donde la congelación llegó al 63%, el desbordamiento subió a 41% del agua disponible, y en donde el 93% del área estaba congelado, el desbordamiento fue de 53% del total de agua disponible. Por lo tanto, la congelación de extensas áreas en una pequeña superficie de desagüe, aumentó de 3 a 4 veces el desbordamiento.

UNA COBERTURA de vegetación y de nieve influencia grandemente la estructura de la tierra congelada y su penetración, persistencia y extensión. Un montón de agujas de pino puede evitar que la tierra se congele hasta endurecerse, ya que los espacios interranurales de la tierra cubierta de desechos no se llenan tan completamente con hielo como sucede en las tierras que carecen de esa cobertura.

La congelación concreta se ha observado más frecuentemente en campos cultivados. Las congelaciones de panal y de estalactitas, que ocurren ordinariamente durante heladas superficiales, se encuentran más frecuentemente en las praderas y pasturas, y la congelación del tipo granulado se encuentra más a menudo en las áreas forestales, siguiéndole en frecuencia la congelación de panal.

El tipo y composición de la cobertura de árboles, la condición de los bosques y el piso de los mismos tienen gran influencia en el tipo y grado de congelación de la tierra. Las mediciones de congelación de la tierra durante el invierno de 1950-1951 en New York y New England, comprobaron la relación general que existe entre el tipo de bosques y la congelación concreta de la tierra. Se llevaron a cabo observaciones de tierras congeladas en el sur de New York en parcelas cubiertas con maderas duras de tamaño adecuado para postes y madera de aserradero, y en otras parcelas cubiertas con plantíos comparables de coníferas. La congelación concreta de la tierra comenzó a formarse bajo los plantíos

de coníferas de 2 a 3 semanas antes de que se observara en los plantíos de maderas duras, y las mayores profundidades alcanzadas en los plantíos de coníferas fueron aproximadamente 3 ó 4 veces mayores que las de los plantíos de maderas duras. La congelación concreta desapareció completamente de los plantíos de maderas duras de 3 a 4 semanas antes de que desapareciera en los plantíos de coníferas, y durante el tiempo que ocurrió esa congelación concreta, sólo un 25% del área cubierta con maderas duras contenía tierra congelada, mientras que se encontraba congelada concretamente del 50 al 75% del área cubierta de coníferas.

Se hicieron mediciones de tierra congelada durante ese mismo invierno en dos plantíos de pino blanco en el norte de New York, uno de los cuales tenía de 20 a 25 años de edad, mientras que el segundo tenía aproximadamente 35 años de edad. Comenzó a formarse la congelación concreta unos cuantos días antes en el plantío más joven, siendo 2 ó 3 pulgadas más profunda que en el más viejo y desapareciendo 3 ó 4 días más tarde que en este último. Ambos plantíos tenían menos congelación que las tierras desnudas vecinas, pero quedaron más congelados que aquellas áreas que habían estado continuamente cubiertas de bosques.

En varias partes del país, especialmente en el Nordeste, se encuentran áreas considerables de tierras de granjas abandonadas, y en algunas de ellas se están estableciendo buenos plantíos de árboles; pero ha ocurrido muy poca o ninguna reproducción en otras áreas. Se hicieron mediciones de congelación de tierras en 1950-1951 en el oeste de Massachusetts, en áreas con buena reproducción natural de maderas duras y sin ella. Las regiones que tenían un buen plantío de reproducción natural comenzaron a congelarse en forma concreta casi una semana después que las que no tenían reproducción, y la profundidad de penetración fue de 2 a 4 pulgadas menor en las áreas con reproducción natural, desapareciendo 10 días más temprano en la primavera.

Se determinó el efecto de los disturbios causados por el fuego en el suelo de los bosques mediante observaciones efectuadas en ese mismo invierno en dos áreas al norte de New York. Una de ellas estaba cubierta con un plantío de coníferas de aserradero que no había sufrido disturbios, y la segunda estaba cubierta con otro plantío de coníferas de aserradero de la cual una gran parte de los desechos y del humus había sido destruido aproximadamente un año antes por un incendio. Se inició la congelación concreta en el área incendiada aproximadamente 2 semanas antes de que principiara en el área intacta, fue 3 ó 4 veces más profunda y duró de 2 a 3 semanas más en primavera.

Se determinó el efecto causado por disturbios en el suelo de los bosques por la remoción o destrucción de los desechos y humus por causas diferentes al fuego y por la consolidación de la tierra, con las mediciones de 3 plantíos de maderas duras de aserradero en el norte de New York. Un plantío se conservó relativamente intacto; el segundo se taló en forma selectiva dos años antes y el tercero había sido talado intensamente. La congelación concreta se inició aproximadamente con 2 semanas de anticipación en el área talada que en cualquiera de las otras dos, alcanzando una profundidad mucho mayor y durando aproximadamente 3 semanas más en el área talada selectivamente, y aproximadamente 6 semanas más en el área intacta. Hubo más congelación concreta en el área talada que en el área intacta; pero la mayor parte de esa congelación ocurrió en aquellos lugares donde el deslizamiento de los troncos había removido los desechos y el humus, y producido la consolidación de la tierra, dando por resultado un patrón de manchones de congelación concreta.

Las observaciones hechas en el invierno de 1950-1951 pueden compendiarse en la siguiente forma:

Hay menos congelación concreta en los plantíos de maderas duras que en los plantíos de coníferas de tamaño semejante.

El establecimiento de los plantíos de coníferas retrasa la formación de la congelación concreta en comparación con las

condiciones que existen en tierras desnudas, pero no acorta el tiempo en que cesa la congelación en primavera. Los plantíos de coníferas parecen retardar la formación de la congelación concreta en menor grado que el desarrollo natural de reproducción de maderas duras.

El establecimiento de la reproducción de maderas duras en campos abandonados disminuirá la cantidad de congelación concreta en la tierra.

Los disturbios del suelo de los bosques mediante la destrucción o remoción de los desechos y del humus, y la consolidación de las capas minerales superficiales, aumenta grandemente las cantidades de congelación concreta. Esa cantidad es directamente proporcional al grado de disturbio del suelo de los bosques.

La congelación concreta de la tierra en campos desnudos ocurre más pronto que en las áreas cubiertas de bosques y es más profunda y extensa. La congelación concreta desaparece de las tierras desnudas en primavera, al mismo tiempo que en los extensos plantíos de coníferas, y en ocasiones, más pronto.

Si no se talan los plantíos abundantes de maderas duras de aserradero, tendrán menos congelación concreta de la tierra que bajo cualquier otro uso o condiciones de la misma.

Se hicieron muchas observaciones sobre la estructura en la Nueva Inglaterra durante el invierno de 1945-1946. En áreas abiertas, la congelación era de una estructura de tipo sólido o concreto desde la superficie hasta el total de su profundidad de penetración, o de una estructura suelta en las 3 ó 4 pulgadas superiores, y sólida a mayores profundidades. El tipo concreto ocurría ordinariamente en campos cultivados, y el tipo suelto ocurría ordinariamente en praderas en las que había una abundancia de humus. Sólo ocasionalmente se encontraba un tipo de estructura concreta en una área boscosa que tuviera una cantidad suficiente de materia orgánica. Las excepciones más notables eran las áreas planas de pinabetes que tenían mesetas de agua altas, y en ellas la tierra se congeló casi sólidamente hasta profundidades de más de 12 pulgadas.

La congelación tiende a formar una estructura granulada o de panal en tierras que contienen cantidades considerables de humus. La incorporación de materia orgánica en una tierra mineral mediante procesos naturales puede causar la aglomeración de sus partículas, aumentando así los poros no capilares en tierras de contextura más fina. Como las tierras aglomeradas y de contextura gruesa generalmente contienen poros más grandes no capilares que las de contextura fina, es posible que la estructura de la tierra, según queda influenciada por la materia orgánica, sea también un factor en la determinación de las estructuras de congelación.

Los datos disponibles indican lo siguiente:

En casi todas las tierras en las que se ha agotado el humus se forma un tipo concreto de estructura de congelación.

En presencia del humus la congelación de la tierra es ordinariamente de estructura porosa.

Se forma un tipo concreto de estructura de congelación en tierras sumamente aglomeradas, independientemente de su contenido de humus.

Frecuentemente se forma un tipo concreto de estructura de congelación cuando ésta penetra hasta abajo de la capa de humus. En las pasturas y praderas ligeramente aglomeradas, esto ocurre ordinariamente a profundidades mayores de 3 ó 4 pulgadas.

En general, la profundidad de la congelación de la tierra se afecta por la mayoría de los mismos factores que controlan el tipo de estructura de congelación que se forme. Esto es de esperarse, ya que el tipo concreto de congelación se asocia con una congelación más profunda, mientras que se encuentran ordinariamente los tipos más porosos si las condiciones favorecen una congelación superficial.

Las tierras descubiertas tienden a congelarse más profundamente que las forestales que no han sufrido disturbios. Los plantíos de coníferas en tierras con malos desagües constituyen una excepción importante, ya que pueden congelarse tan profundamente o aún más que las tierras descubiertas. Los plantíos de ma-

deras duras se congelan constantemente a profundidades menores que cualesquiera otras áreas, a menos que los desechos y el humus hayan sido removidos por el fuego, las operaciones madereras o el pastado.

Un estudio efectuado en Connecticut descubrió que los desechos y el humus de un plantío mezclado de pino rojo y pino blanco disminuyeron la penetración en un 40%.

Otro estudio llevado a cabo en el Noroeste en 1939-1940, demostró los efectos de la remoción de los desechos y del humus. Se establecieron parcelas apareadas en los plantíos de maderas y en un plantío de pino blanco, y se removió todo el desecho y la capa parcialmente descompuesta en una parcela de cada par, mientras que la otra se conservó intacta. En las parcelas de maderas duras sin humus, la congelación ocurrió casi en forma continua durante todo el periodo de observación y alcanzó una profundidad casi de 3 pulgadas. En las parcelas intactas sólo se observó congelación durante dos días y sólo a una profundidad de unos cuantos décimos de pulgada. La penetración de la congelación en la parcela intacta de pino blanco tuvo una profundidad de 3.5 pulgadas a fines del periodo de observación, y en la parcela semejante de la que se removió el humus, la congelación tuvo una penetración de 8 pulgadas.

La nieve, en particular la nieve nueva y ligera, tiene gran valor como aislante y tiende a retardar la profunda penetración de la congelación. Aunque ésta sea seria, un manto de nieve de 24 pulgadas ha impedido su penetración. En otras ocasiones, durante tiempo menos inclemente, un manto de nieve de 12 a 18 pulgadas ha impedido la penetración de la congelación. Cierto número de observaciones han demostrado que aun cuando se haya iniciado la mayoría de la penetración antes de las primeras nieves, se detiene cuando el manto de nieve tiene de 18 a 24 pulgadas de grueso. En general, los bosques de maderas duras producen probablemente la cobertura de nieve más eficaz para retrasar la penetración de la congelación. El movimiento del viento en un bosque de maderas duras es constantemente menor, debido al retardo producido por los troncos y ramas desnudos, lo que hace que haya muy poco resbalamiento y que la nieve se distribuya uniformemente sobre la superficie de la tierra. Las maderas duras interceptan también pocas cantidades de nieve comparadas con las coníferas, y, por lo tanto, la acumulación de nieve tiende a ser mayor en ellas que en los plantíos de coníferas. Por otra parte, con frecuencia los campos desnudos quedan libres de nieve que es barrida por los vientos de invierno, haciendo que grandes extensiones queden sin una cubierta protectora de nieve y sujetas a una penetración profunda.

DESDE UN PUNTO de vista hidrológico es muy importante la persistencia de la congelación concreta durante los periodos de lluvia o de fusión de las nieves, especialmente en primavera. Si esa congelación desapareciera siempre antes de que las lluvias o la fusión de las nieves pudieran producir desbordamientos superficiales, tendría muy poco significado.

A menudo se inicia la congelación de la tierra antes de la primera acumulación de nieve y continúa hasta que ésta tiene la profundidad suficiente para impedir la congelación ulterior de la tierra. Si la nieve alcanza esa profundidad o una mayor, el deshielo se iniciará en la orilla inferior de la zona de tierra congelada, porque una acumulación de calor de las profundidades inferiores más calientes sube hacia la superficie de la tierra. La tierra que ha quedado congelada a una profundidad considerable puede deshelarse bajo un manto de nieve de 30 a 40 pulgadas, y cuando ésta desaparece, la tierra congelada comienza a deshelarse desde arriba mientras continúa deshelándose también en la orilla inferior. Ordinariamente se encuentran los últimos restos de congelación entre el punto de penetración máxima y la superficie.

La congelación penetra rara vez a profundidades uniformes, aun en sitios que se encuentren a unos cuantos pies de distancia, debido a la variabilidad del medio microfísico. Esa falta de uniformidad tiene significación especial durante un periodo de fusión de nieves. Cuando la con-

gelación se deshiela, desaparecen primero sus partes menos profundas.

Los estudios efectuados en la Nueva Inglaterra demostraron que la extensión de congelación en las áreas forestales disminuyó antes o durante el periodo de fusión de las nieves, pero que permaneció en casi todas las áreas descubiertas durante todo ese mismo periodo.

Otro estudio efectuado en la parte central del sur de New York que incluyó la totalidad de las subvertientes hidráulicas que variaban de 7 a 1,335 acres, no descubrió congelación alguna en 3 de cada 4 vertientes boscosas, ocurriendo la congelación en la cuarta únicamente en el 12% de su superficie. Por lo tanto, puede ocurrir la congelación solamente en ciertas partes de una vertiente mientras que puede quedar libre de ella el resto de la cuenca. Las vertientes hidráulicas cultivadas mostraron penetración de congelación en todas sus partes al principio del periodo de fusión de las nieves, y esa extensión se redujo, aproximadamente, al 50% del área a fines del mismo periodo. Aproximadamente el 65% de las vertientes con pasturas tenían un máximo de penetración de congelación, pero ésta había desaparecido al final del periodo de fusión de las nieves.

En conclusión, pueden producirse cambios considerables en el tipo y extensión de la congelación de la tierra por los cambios en la utilización de la misma y por las condiciones de su cobertura vegetal. Esos cambios, a su vez, causan cambios en la infiltración, filtrado y desbordamiento, y tienen una influencia vital sobre las inundaciones durante el invierno y la primavera.

HERBERT C. STOREY *es jefe de la División de Investigaciones sobre Conservación de Vertientes Hidráulicas del Servicio Forestal. Se graduó en la Universidad de Standford y ha sido miembro del* Servicio *Forestal desde 1933.*

El fuego en las vertientes hidráulicas de la nación

C. Allan Friedrich

EN TODAS LAS ÉPOCAS el fuego ha arrasado extensas regiones de los Estados Unidos de Norteamérica, desnudando las vertientes hidráulicas de su cubierta protectora de vegetación y preparando la escena para las inundaciones y la erosión.

El fuego tuvo una parte significativa como causa de la erosión en las aguas originarias de donde vinieron los vastos sedimentos que forman actualmente las tierras fértiles del valle del Mississippi. El fuego fue grandemente responsable de la conservación de la cobertura de las praderas en miles de acres a lo largo de la orilla oriental de las Grandes Llanuras, en tierras que eran perfectamente capaces de mantener grandes bosques de maderas duras.

Se cree que algunos de los más valiosos plantíos forestales comerciales en el oeste de los Estados Unidos de Norteamérica han sido el resultado de la acción del fuego. Si no hubiera sido por la repetida ocurrencia de los incendios en los bosques del norte de Idaho, por ejemplo, hace mucho tiempo que el famoso pino blanco habría sido reemplazado por el cedro rojo occidental, el pinabete norteamericano del Oeste o el abeto blanco, menos valiosos pero más tolerantes a la sombra. El fabuloso abeto Douglas del oeste de Washington y Oregon, debe en parte al fuego su abundancia, que le ha dado ventajas sobre los cedros y pinabetes que de otro modo predominarían en gran parte de las tierras ocupadas actualmente por el abeto Douglas.

En el siglo XIX se incendiaron a propósito o por descuido millones de acres en los Estados Unidos de Norteamérica, y otros millones más se incendiaron debido a causas naturales, sin llamar mucho la atención.

Los primeros pobladores empleaban comúnmente el fuego para limpiar las tierras de bosques y malezas, a fin de utilizarlas en cosechas o pasturas.

Gradualmente se fue reconociendo la necesidad de la conservación de las tie-

rras de bosques y praderas y los enormes daños que cada año causaba el fuego. Primeramente se condenó al fuego como destructor; pero pronto se reconocieron algunas de las relaciones existentes entre éste, la erosión de la tierra y las inundaciones, y se consideró la protección de las vertientes hidáulicas como otra razón de peso para la prevención de los incendios.

A medida que sabemos más y más por medio de la investigación y la experiencia sobre las relaciones que existen entre la vegetación, el bienestar de la tierra y el flujo de las corrientes, la preservación y mejoramiento de los valores de las vertientes hidráulicas se convierten en objetivos principales en relación con la protección y cuidado de muchas de las tierras forestales y de praderas. Durante muchos años las agencias gubernamentales, en su campaña para la prevención de incendios, han tendido a condenar el fuego en cualquiera de sus manifestaciones como perjudicial y destructor. Esa idea no parecía muy exacta a ciertos individuos en el Oeste, que habían empleado el fuego para remover la maleza de las tierras de pasturas, a veces con un éxito considerable, y esa tradición de incendiarlas persiste todavía en algunas regiones de este país.

Finalmente, se hizo evidente para algunos conservadores que había gran necesidad de conocimientos más completos en relación con los efectos del fuego en la vegetación y en los valores de las vertientes hidráulicas, y se efectuaron investigaciones para precisar si podría usarse el fuego como instrumento para mejorar el manejo de la tierra, y la forma de hacerlo.

En 1932, la Estación Experimental Intermontañosa de Selvas y Praderas inició una serie de experimentos sobre el uso del fuego para reprimir la artemisia en las tierras descuidadas de pradera del sur de Idaho, dando por resultado la publicación del Boletín de Agricultores núm. 1948, titulado *Lo Bueno y lo Malo de la Quema de la Artemisia,* por Joseph F. Bechanec y George Stewart, en el que se reconocía el concepto de que bajo ciertas condiciones las ventajas obtenidas por medio de incendios controlados podían ser mayores que sus efectos perjudiciales.

Subsecuentemente, el Servicio Forestal ha efectuado investigaciones en el norte de Idaho sobre la posibilidad de utilizar incendios controlados en la lucha contra el moho de ampolla del pino blanco. En ciertas condiciones la quema controlada después de la corta está obteniendo mayor aceptación como práctica silvícola para destruir especies indeseables, para remover árboles enfermos o infestados por los insectos, promover la reproducción natural o facilitar la siembra o el plantío de especies deseables, y en muchas áreas occidentales es práctica común el quemar los árboles derribados por el viento y otras acumulaciones inflamables de materias combustibles en condiciones especiales, antes que arriesgar que se inicien incendios sin control en esos materiales.

La relación entre las funciones de una vertiente hidráulica y el fuego es complicada y no se conoce todavía por completo, pero se han establecido algunos de sus fundamentos. La función deseable de las tierras de una vertiente hidráulica, especificada de manera sencilla, consiste en recibir la precipitación y disponer de ella en forma ordenada, y para ello son esenciales una cubierta protectora de vegetación sana y una capa abundante de desechos y humus.

El fuego destruye o daña la mayoría de los tipos de plantas y consume una parte o la totalidad de la cobertura viva de plantas, desechos y humus, dejando desnuda la superficie de la tierra. Cuando esto sucede pueden ocurrir graves desbordamientos y erosiones como consecuencia de las fuertes lluvias. A medida que las gotas de lluvia caen sobre la superficie de la tierra que se encuentra sin protección alguna, se remueven las finas partículas de tierra y cenizas y se depositan en los pequeños espacios que quedan entre las partículas mayores, haciendo que la superficie de la tierra se vuelva prácticamente impermeable al agua. Esta es una causa muy común de las devastadoras inundaciones repentinas que a menudo siguen a los incendios forestales en las montañas.

El desbordamiento superficial de las áreas quemadas causa también graves da-

ños a la vertiente hidráulica en sí. Es obvio que el agua que se desborda a lo largo de la superficie no queda disponible en la tierra para ayudar a la recuperación de la vegetación debilitada por el fuego, y además de robar a las plantas el agua necesaria, el desbordamiento superficial arrastra consigo ciertas substancias nutritivas que se encuentran en las cenizas y tierra superficial, dejando a ésta menos fértil que antes. La siguiente generación de plantas se encuentra con una disminución de su capacidad para volver el área a sus condiciones primitivas antes del fuego. En forma muy semejante la erosión producida por el viento causa a veces daños serios a las vertientes hidráulicas incendiadas, arrastrando las cenizas que contienen substancias nutritivas, el poco humus que queda y la tierra superficial de las áreas críticas.

Es difícil de precisar el tiempo que necesita una vertiente hidráulica para recuperarse completamente de los efectos de un incendio grave, pero puede medirse en décadas para las tierras de hierbas y maleza y en siglos para los bosques. Sin embargo, se han hecho considerables progresos para proteger la tierra contra los ataques de las gotas de lluvia tan pronto como se desarrolla una vegetación baja suficiente, lo que requiere ordinariamente de uno a varios años en las tierras de hierbas y maleza, mientras que algunos sitios forestales dañados gravemente pueden quedar baldíos durante muchos años. A medida que se desarrolla la cubierta protectora se afloja gradualmente de nuevo la tierra superficial, debido a la acción de los insectos, de las raíces de las plantas, de la humedad y de la sequía y de las congelaciones y deshielos, recuperando poco a poco gran parte de su antigua porosidad. En aquellos lugares donde ha habido una grave erosión, la reconstitución de la tierra a su antigua profundidad y contenido de humus es un proceso lento y prolongado, que no se inicia sino hasta que la proporción de erosión es menor que la proporción de los procesos de reconstrucción de la tierra.

Algunos conservadores opinan que se ha alcanzado esa recuperación cuando la proporción de infiltración ha mejorado a tal grado que exceda de la proporción de las lluvias esperadas. Esto constituye un punto deseable en la recuperación, pero no debe dar una falsa sensación de seguridad. ¿No indican los frecuentes informes de lluvias demasiado abundantes en uno y otro sitio que aun nuestros registros de clima a largo plazo sólo nos dan una idea muy pobre de la clase de clima que podemos esperar? Generalmente la tempestad más fuerte de lo normal es la que causa daños, y cuando ocurren lluvias excesivamente abundantes, aun las mayores proporciones de infiltración posibles y las mayores capacidades de retención de agua de nuestras vertientes, no son suficientes.

La gravedad de los daños causados por el fuego no depende de que éste sea planeado o de que ocurra naturalmente, sino de varios otros factores importantes: La extensión e intensidad del incendio, las características de la tierra, lo escarpado de los declives, la cantidad y características de precipitación a que queda sujeta el área quemada después del incendio, el tipo de vegetación que se encuentre presente antes del incendio, el periodo de tiempo que la tierra quedará desnuda antes de que haya una nueva vegetación, el tipo y cantidad de vegetación que ocurra después del incendio, la proporción de la unidad de vertiente que queda afectada por el fuego, las características de las porciones relativas no incendiadas de la unidad de vertiente, y la condición y capacidad del canal de la corriente para transportar el aumento de flujo en forma ordenada.

Los incendios controlados o prescritos, debidamente planeados y ejecutados, rara vez causan daños graves, porque se aprovechan las combinaciones favorables de esos factores. Debe utilizarse el incendio planeado únicamente para alcanzar ciertos objetivos específicos mediante los controles adecuados para conservar el fuego dentro de los límites deseados y bajo condiciones de viento, humedad y humedecimiento de las materias combustibles que mantengan la intensidad del fuego al mínimo necesario para obtener esos objetivos, debiendo evitarse los repetidos incendios de las mismas áreas. No

deben permitirse incendios en tierras impermeables, superficiales, inestables o altamente susceptibles a la erosión, ni en declives escarpados, especialmente en aquellas áreas que están sujetas a lluvias abundantes o a una rápida fusión de las nieves. Cuando hay la posibilidad de que el fuego destruya o debilite seriamente la vegetación existente, deben tomarse medidas para asegurar la pronta revegetación del área quemada. Los incendios deben limitarse a proporciones relativamente pequeñas por unidad de vertiente, a fin de que los canales de las corrientes puedan transportar cualquier aumento en los flujos con un mínimo de daños.

Cuando se efectúan los incendios en esas condiciones, las ventajas obtenidas para la represión de hierbas o maleza, mejoramiento de las relaciones silvícolas, disminución del peligro de incendios y otras, pueden compensar los daños menores que se causen en los valores de las vertientes. Sin embargo, el fuego debe considerarse siempre como un tratamiento drástico y peligroso, y sólo debe permitirse después de pesar cuidadosamente todos los valores en juego, a fin de cerciorarse de que haya una seguridad razonable que los justifique. La gente que piensa no aceptará como práctica satisfactoria el incendio controlado en tierras que tengan gran valor en las vertientes, sino que estará constantemente alerta para encontrar medios más seguros de alcanzar las metas deseadas.

Mientras tanto, en toda ocasión en que se decida el empleo de incendios controlados, los responsables de ellos deben asegurarse siempre de que se cumpla con los requisitos locales, estatales y federales, aprovechando todos los medios de guía diponibles para el tipo de incendio que se lleve a cabo. Con frecuencia puede obtenerse esa ayuda o guía en forma de publicaciones obtenibles de los vigilantes de incendios, agentes de condado, oficinas locales de los departamentos estatales forestales o de conservación, servicios estatales de extensión, Servicio Forestal, Servicio de Conservación de Tierras, Oficina de Manejo de Tierras, y otros.

Los incendios naturales o cualquier incendio planeado que se lleve a cabo en forma indebida son siempre peligrosos y a menudo causan daños considerables. Ocurren siempre sin tener en cuenta los factores que controlan su potencial de daños y a menudo bajo condiciones que favorecen su propagación. Cuando esto sucede, es probable también que se encuentren en sus peores condiciones los demás factores. A pesar de que se gastan millones de dólares para la prevención y supresión de incendios en las vertientes hidráulicas de la nación, esos incendios causan estragos anualmente en muchos miles de acres.

Al destruir la capacidad de control del agua en las vertientes hidráulicas, algunos de esos incendios han sido responsables de las inundaciones que han ocasionado pérdidas trágicas de vidas y daños tremendos a las propiedades. Un ejemplo de esto es la inundación que azotó La Crescenta, California, el 31 de diciembre de 1933, que causó la pérdida de 30 vidas y daños que se calculan en 5 millones de dólares. Esa inundación se debió primordialmente a las partes recientemente incendiadas de la vertiente hidráulica que se encuentra hacia arriba. Las vertientes cercanas no incendiadas transportaron el flujo de la tormenta sin que ocurrieran inundaciones.

El 4 de julio de 1950 se inició un incendio cerca de Yucaipa, California, que quemó unos 630 acres de las laderas de las colinas cubiertas de chaparrales. El 6 de julio, mientras las cuadrillas estaban todavía luchando con el fuego, una fuerte tormenta descargó casi tres cuartos de pulgada de lluvia sobre el área incendiada y las regiones circunvecinas. La inundación resultante bloqueró con sedimentos las carreteras que se encontraban hacia abajo, haciendo necesario el empleo de tractores para lograr la recuperación del equipo contra incendio. Las aguas de la inundación procedentes del área quemada causaron daños por varios miles de dólares, y, sin embargo, hubo muy poco o ningún flujo de agua en los desagües adyacentes no incendiados.

Cada año se hace menos común el fuego en las tierras de cosechas, a medida que

los agricultores reconocen las ventajas de incorporar la materia orgánica dentro de la tierra en vez de quemarla. Son especialmente indeseables los incendios de otoño, porque exponen la tierra a la erosión causada por el viento y el agua y a la penetración profunda del tipo concreto de congelación en invierno.

En las tierras de hierbas, el fuego causa muchos más daños de lo que generalmente se cree. A medida que consume la vegetación y los desechos, el fuego libera algunas de las substancias nutritivas de las plantas que se encuentran almacenadas y las hace fácilmente accesibles. Cuando se deslavan en la tierra por la acción de las lluvias ligeras o la fusión de las nieves, producen a veces el rápido y abundante crecimiento de las plantas que no se destruyeron o de los nuevos retoños. La remoción por el fuego de la vegetación vieja tiende también a hacer que luzca más cualquier crecimiento verde que si estuviera parcialmente cubierto por la vegetación vieja y los desechos. La apariencia extraordinariamente lozana y verde de las tierras de hierbas después de un incendio, atribuible realmente a esas dos causas, se interpreta a menudo equivocadamente como indicación de que el fuego, en cierto modo, es benéfico para las hierbas, pasando inadvertida la disminución del crecimiento en los años subsecuentes, después de que esas substancias nutritivas extras han sido utilizadas o se han deslavado.

En realidad, el fuego mata o debilita muchas de las plantas forrajeras deseables, y los daños son peores cuando las abundantes lluvias arrastran las cenizas y la tierra superficial adicional, robando a las plantas las substancias nutritivas y el agua. El desbordamiento de las tierras de hierba quemadas a menudo aumenta los daños de las inundaciones, y una vez que la erosión se inicia en las tierras de hierbas después de un incendio, continúa frecuentemente por muchos años aun después de que la vegetación se ha recuperado.

Cada año se inician muchos incendios en tierras de maleza en un intento equivocado de extirparlas con la esperanza de que aumenten las hierbas. Aunque se han desarrollado métodos bastante seguros y eficaces para la extirpación de la artemisia por medio del fuego en el sur de Idaho, no ocurre lo mismo tratándose de otras clases indeseables de maleza y chaparral. No debe intentarse la represión de la maleza por medio de incendios, a menos que se usen métodos completamente aprobados, ya que de otro modo sería un desperdicio inútil de recursos naturales y de tiempo.

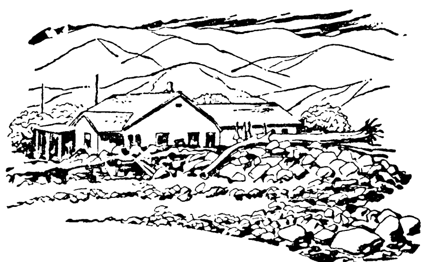
En California hay, aproximadamente, 20 millones de acres de tierras de maleza o chaparral, la mayor parte de los cuales tienen muy poco valor y sólo sirven para proteger las tierras escarpadas y erosivas de las vertientes hidráulicas. Sin embargo, se invierten millones de dólares en equipo y facilidades para la prevención, descubrimiento y control de los incendios, y se gastan anualmente otros millones más en el control de los que ocurren. Esas inversiones se justifican porque evitan los daños causados por las inundaciones.

Con frecuencia el chaparral muestra considerables recuperaciones en 3 ó 4 años, pero se necesitan por lo menos 40 años para que la vegetación vuelva a alcanzar su densidad máxima. Si mientras tanto ha habido una grave erosión, indudablemente se necesitará más tiempo para que se restaure la profundidad de la tierra y su capacidad de retención de agua. Los valles intensamente desarrollados y abundantemente poblados conceden valor especial a la protección de las vertientes hidráulicas, y tienen casi los mismos efectos en otras partes de la nación que en aquella región, debiendo controlarse en donde quiera que ocurran.

Los graves incendios forestales en las tierras de gran valor de las vertientes hidráulicas significan probablemente el máximo de destrucción y desperdicio, ya que esos incendios son aún más serios que los que ocurren en la maleza o chaparrales y sus efectos duran más tiempo y son más complejos.

Generalmente los bosques reciben más precipitación que las tierras de maleza o de hierbas, ya que de otro modo no existirían. Gran parte de las tierras montañosas forestales en el oeste de Washington y Oregon, y algunas en el norte

de Idaho, oeste de Montana y norte de California, reciben más de 60 pulgadas de precipitación anuales, y en algunos lugares se almacenan de 40 a 60 pulgadas de agua en los mantos de nieve de las escarpadas áreas montañosas alrededor del 1º de abril de cada año. La



Las abundantes lluvias que ocurran en las vertientes hidráulicas dañadas por el fuego, pueden causar graves daños por las inundaciones de los valles inferiores.

nieve generalmente se funde en 2 ó 3 meses, lo que significa que las vertientes hidráulicas tienen que manejar volúmenes de agua en proporción de 20 a 30 pulgadas mensuales en las tierras escarpadas, y en esas condiciones no puede pasarse por alto la importancia de los plantíos de bosques para el control del agua.

En el Laboratorio Hidrológico de Coweeta, en North Carolina, el corte de toda la vegetación de una vertiente hidráulica abundantamente arbolada, dejando esa vegetación en el suelo, aumentó en 17.29 pulgadas el total de desbordamiento de esa vertiente durante el primer año. El año siguiente, debido a la utilización del agua por el crecimiento de retoños y a la escasa vegetación, el aumento fue sólo de 13.35 pulgadas, y aunque la situación es un poco diferente en relación con un grave incendio de tierras forestales, las cifras dan por lo menos una idea aproximada del posible aumento en el total de desbordamiento que puede esperarse después de un incendio forestal.

La congelación de la tierra es un factor importante en las relaciones de tierra y agua en la mitad norte de los Estados Unidos de Norteamérica al este de las Montañas Rocallosas. En esa región del país, los incendios forestales que destruyen la capa aisladora de desecho y humus causa la congelación de la tierra y el desarrollo de un tipo de congelación más impermeable que el que ocurre en las tierras con alto contenido de humus que quedan protegidas con los desechos de plantas. Las tierras desnudas encharcadas por las lluvias y que luego se congelan, pueden volverse prácticamente impermeables, mientras que las tierras que quedan protegidas y que tienen un alto contenido de humus, aunque se endurezcan por la congelación, generalmente no se solidifican y quedan todavía permeables al agua. Las lluvias de primavera que corren sobre la superficie de las tierras desnudas y congeladas, se absorben con frecuencia y apresuran el deshielo de las tierras protegidas, por lo que el aumento en el desbordamiento superficial, la erosión de la tierra y la inundación debida a la fusión de las nieves o a las lluvias de invierno y de principios de primavera, son resultados comunes de los incendios forestales que ocurren en áreas en donde la tierra se congela ordinariamente en invierno.

Las nevadas causan la mayor parte de la precipitación que cae en muchas de las tierras abundantemente arboladas de las vertientes hidráulicas de las Montañas Rocallosas, Sierra Nevada y Cordillera Costera, en donde a menudo se acumulan a grandes profundidades. La tierra que queda bajo esos gruesos mantos de nieve rara vez se congela durante los periodos de fusión de la nieve.

En los incendios más extensos, de 50 a 100 acres o más, es probable que se acumule más cantidad de nieve en la tierra o en los mantos de nieve que bajo una cubierta forestal, debido en gran parte a que la cubierta forestal que no sufrió daños por el fuego intercepta mayor cantidad de nieve antes de que llegue al suelo. La magnitud de la diferencia dependerá del viento, de la temperatura y de la importancia y frecuencia de las nevadas. La nieve fría y seca que cae en grandes cantidades y que va acompañada de viento, puede caer al suelo en mayor cantidad aun a través de una densa cobertura forestal, y entonces su distribución será bastante uniforme bajo los

árboles y se extenderá a las tierras quemadas descubiertas, pero no habrá gran diferencia en la cantidad que llegue a la tierra. Las nevadas ligeras de nieve húmeda pueden quedar interceptadas en gran parte por los árboles que no se quemaron, evaporándose de nuevo a la atmósfera antes de que ocurra la siguiente tormenta, llegando muy pequeña parte de ellas al suelo. Si las nevadas consisten en gran parte de este tipo de tormentas, puede considerarse que la cantidad que llegue a la tierra será mayor en las partes incendiadas.

El que la nieve se acumule en un grueso manto, el que se funda, que penetre en la tierra o que se evapore, depende del clima entre tormentas. En promedio, sin embargo, la cantidad de nieve que llega al suelo en una gran área quemada, puede no ser considerablemente mayor que en otra área intacta.

Los pequeños incendios dentro de una gran área forestal, recogen a menudo mucha más nieve que las áreas adyacentes intactas. Una explicación de esto puede consistir en que los vientos tienden a moverse sobre la superficie de un bosque en la misma forma en que lo hacen a través de la superficie de un campo, así que una depresión como la que causa un pequeño incendio tiende a producir remolinos en las corrientes de aire, haciendo que dejen caer su carga de nieve en los claros.

Generalmente puede esperarse que la nieve se funda un poco más temprano y más rápidamente en las áreas incendiadas que en otras semejantes, pero intactas, de las tierras forestales. La diferencia es más pronunciada en los declives que ven al Sur y al Oeste en estaciones de mucho sol, pudiendo entonces desaparecer las nieves de 1 a 3 semanas antes en las áreas incendiadas. En los declives que ven al Norte y en estaciones en que la fusión queda grandemente influenciada por las masas de aire caliente acompañadas de cielos nublados, la diferencia puede ser ínfima. De cualquier modo, el desbordamiento total, si existe, de la fusión causada por la luz del sol o las masas de aire caliente, será mayor en las áreas incendiadas que en las intactas, debido a la reducida interceptación y a la falta de espacio disponible para almacenamiento en la tierra.

Cuando una abundancia de sol induce la fusión apreciablemente más temprana en las tierras forestales incendiadas que en las intactas, la diferencia puede ser perjudicial o benéfica por lo que hace a sus efectos sobre el flujo de las corrientes. Generalmente la fusión es más rápida a fines de la estación que al principio, debido a los días más largos, al sol más caliente, a las noches más tibias, a la acumulación de partículas que absorben el calor en el polvo y en los desechos de la superficie y a la ventilación del manto de nieve a medida que comienzan a aparecer troncos y piedras. Por lo tanto, la fusión temprana puede ser beneficiosa para quitar la nieve del área incendiada causando menos disturbios. La fusión temprana puede tender a disminuir el flujo máximo de las corrientes, prolongando el deshielo, o puede tener un efecto contrario. Por ejemplo, un incendio que desnude los declives que vean al Sur de una vertiente hidráulica arbolada en gran parte, podría tener un efecto benéfico local en el flujo del primer arroyo. Más hacia abajo, sin embargo, el flujo temprano mayor que el normal del área incendiada, puede coincidir desfavorablemente con el flujo máximo normal de las tierras bajas o de los desagües cubiertos de hierba, causando inundaciones en ellos. De modo semejante el incendio de los bosques de una vertiente hidráulica parcialmente cubierta de hierba puede producir inundaciones locales si hace que la fusión de las porciones que estaban cubiertas de árboles anteriormente, coincida con la de las tierras cubiertas de hierba.

El tipo de fusión de nieves debido a las masas de aire caliente, como el que fue responsable en gran parte de la inundación de 1948 en la cuenca del río Columbia, puede ocurrir con mayor probabilidad a fines de la estación de deshielo. Cuando, como en 1948, sigue a una primavera tardía en la cual no ocurrió el deshielo normal temprano en la estación, los resultados pueden ser desastrosos. El deshielo producido por las masas de aire caliente se vuelve tan peligroso, debido en gran parte al hecho de que

es probable que continúe día y noche en los claros y en la sombra en todos los aspectos de una amplia gama de alturas. En contraste, el deshielo producido por el sol cesa por las noches y permite el funcionamiento natural del desbordamiento, porque la nieve de los declives de poca altura que ven al Sur y en la tierra abierta, se funde generalmente antes que la de los declives que ven al Norte en las mayores alturas y en las áreas sombreadas.

Durante el deshielo producido por las masas de aire caliente, el efecto principal y directo del fuego consiste probablemente en su contribución a una cantidad excesiva de agua de las áreas quemadas, y las mayores probabilidades de que ocurran desbordamientos superficiales y erosión, especialmente si la fusión va acompañada de lluvias. El exceso de agua es mayor durante el primer año o dos que siguen al incendio, y disminuye a medida que aumenta la utilización por la vegetación.

La recuperación de las vertientes es un proceso largo y prolongado después de un grave incendio forestal. Generalmente el retorno de la cobertura protectora de vegetación es bastante rápido en los bosques de maderas duras del Este, porque los árboles y arbustos pueden retoñar de los tocones o raíces después de un incendio. Sin embargo, un incendio que produce temperaturas muy elevadas puede destruir los árboles coníferos. En los plantíos relativamente abiertos pueden sobrevivir ciertas especies de arbustos, malezas y hierbas, proporcionando un determinado grado de cobertura en unos cuantos años; pero cuando se destruyen algunos de los densos plantíos de coníferas altas, a menudo se necesitan muchos años antes de que se establezca una cobertura baja de hierbas o maleza, porque las semillas tienen que venir de fuera del área incendiada. Si se deja a la naturaleza la recuperación relativa en esos casos, pasa normalmente a través de varias lentas etapas sucesivas: Primeramente sólo hay tierra desnuda, restos de maleza y erosión; después aparecen gradualmente los musgos, maleza, hierbas y, probablemente, unos cuantos arbustos; éstos se desarrollan gradualmente y tal vez ocurran unos cuantos retoños aislados de árboles aquí y allá. Después de muchos años los árboles comienzan a reemplazar finalmente a los arbustos; pero se necesitan 100 años, o más, para que un árbol se desarrolle completamente, y probablemente dos generaciones de árboles antes de que se recupere la profundidad de la tierra perdida por erosión.

La práctica aconsejable de sembrar o plantar la tierra quemada de los bosques para apresurar la recuperación se está haciendo cada vez más popular; pero las áreas quemadas anualmente tendrán que disminuirse grandemente, multiplicándose la proporción de siembra antes de que se equilibren. Aun si las áreas quemadas pudieran replantarse rápidamente, se necesita un siglo para que un árbol crezca.

A menudo ocurren avalanchas de nieve o de tierra en los declives escarpados después de los incendios forestales en regiones con nevadas abundantes. Una vez que esas avalanchas dejan un sendero de deslizamiento bien establecido, pueden ocurrir anual o periódicamente por décadas enteras. Cuando vacían sus cargas de roca, tierra y desechos en el canal de una corriente, pueden ser fuente de inestabilidad prácticamente permanente en ese canal, y contribuir grandemente a los daños producidos por las inundaciones. Aun el deslizamiento natural del ramaje destruido por el fuego hacia abajo de los declives escarpados, puede ser un factor significativo en la producción o conservación de condiciones inestables en los canales por medio siglo o más después de un incendio. Esta es la situación que prevalece en algunas de las regiones del norte de Idaho y oeste de Montana, que han sufrido graves incendios.

C. Allan Friedrich *ha estado con el Servicio Forestal desde 1937, y la mayor parte de su carrera se ha dedicado a investigaciones de conservación de las vertientes hidráulicas y asuntos relacionados con las Estaciones Experimentales de las Montañas Rocallosas e Intermontañosa de Bosques y Praderas, habiendo sido transferido en 1953 a la rama administrativa del Servicio Forestal como especialista en conservación de vertientes hidráulicas.*

El cuidado de las vertientes hidráulicas públicas

G. R. Salmond y A. R. Croft

CASI TAN ANTIGUAS como las colinas mismas es la creencia de que las condiciones que existen en ellas influencian el flujo de las corrientes, la erosión y la sedimentación.

Los antiguos chinos tenían un proverbio: "Regir la montaña es regir el río", que indudablemente estaba profundamente arraigado en los siglos de experiencia de la China; pero los chinos hicieron muy poco en relación con ello. Las grandes áreas montañosas de China se han desperdiciado totalmente y los ríos están obstruidos con sedimentos causados por la fuerza destructora de las aguas en las vertientes hidráulicas.

Aproximadamente 400 años antes de Jesucristo, Platón, el filósofo griego se expresó con claridad de un conservador moderno: "Hay montañas en Atica que ahora no producen más que abejas; pero que no hace muchos años estaban cubiertas con hermosos árboles que producían madera adecuada para techar los grandes edificios, y las vigas producidas por esos árboles existen todavía. Había también grandes árboles cultivados y el país producía ilimitados pastos para el ganado.

"Los volúmenes anuales de lluvias no se perdían como sucede ahora, dejando que el agua corra hacia el mar sobre una tierra desnuda, sino que el país la recogía en toda su abundancia, se conservaba en tierra de alfarero impermeable, y así el desagüe de las tierras altas se podía descargar en las hondonadas en forma de arroyos y ríos con un volumen abundante y una amplia distribución territorial. Los templos que existen hasta nuestros días en los sitios extintos de suministro de aguas, son evidencia de que mi actual hipótesis es correcta."

George P. Marsh, nuestro embajador en Italia en 1861, apreció la terrible destrucción de la tierra en las épocas pasadas, e impresionado por sus consecuencias escribió un libro: *La Tierra Modificada por la Actividad del Hombre.* Después de citar 400 ejemplos, concluyó que "la tierra está volviéndose cada día menos habitable".

Hablando de las condiciones existentes en lo que fuera el riquísimo Imperio Romano, dijo: "Encontraremos que más de la mitad de su extensión total... ha sido abandonada por el hombre civilizado y ha vuelto a una desolación sin esperanza, o por lo menos ha disminuido grandemente tanto en productividad como en población... Los extensos bosques han desaparecido... Las tierras de los pastos alpinos han sido arrastradas por las aguas, y las praderas, fertilizadas antes por los riegos, están baldías e improductivas."

El reconocimiento de las consecuencias del uso destructor de la tierra, alguno de los cuales puede haber causado la declinación de ciertas civilizaciones del Viejo Mundo, ha estimulado indudablemente en el Nuevo Mundo los esfuerzos para conservar la tierra y sus recursos.

LA NECESIDAD de dar mayor atención específica a los aspectos del cuidado de la tierra, de las vertientes hidráulicas, se ha debido en cierto modo a las investigaciones que han demostrado el funcionamiento de esas vertientes y cómo el uso puede cambiar ese funcionamiento ordenado.

Las vertientes hidráulicas convierten grandes cantidades de lluvia y nieve en flujo de las corrientes. Por ejemplo, en aquellos lugares en donde la tierra recibió 24 pulgadas de precipitación anual, un lote de sólo 10 pies cuadrados recibe y utiliza, aproximadamente, 6.25 toneladas de agua al año; un acre recibe 2,718 toneladas, y 10,000 acres, que no constituyen una gran vertiente hidráulica, reciben y utilizan más de 27.180,000 toneladas.

En el aprovechamiento ordenado de estas enormes cantidades de agua, cada porción de tierra, un pie cuadrado, un acre, una milla cuadrada, una cuenca de desagüe completa, llevan a cabo una función hidrológica de vital importancia, y se ha demostrado, por medio de muchos experimentos y experiencias, que el uso de la tierra por el hombre puede cambiar esas funciones.

En las montañas cubiertas de maleza del sur de California, a los incendios forestales han seguido frecuentemente extensos desbordamientos y erosión de la tierra en los declives de las vertientes hidráulicas, con las consecuentes inundaciones cargadas de desperdicios corriente abajo. Dos tormentas que ocurrieron en enero de 1954, con totales de 6.0 y 13.00 pulgadas, respectivamente, causaron una erosión promedia de 0.6 de pulgada de cenizas, tierra, grava y roca desintegrada de los escarpados declives que se habían incendiado poco tiempo antes. La sedimentación corriente abajo fue 28 veces mayor que la comparable de las vertientes hidráulicas no incendiadas. Las descargas máximas de los arroyos de una vertiente hidráulica de 1,500 acres, que sólo se había incendiado en un 32%, fueron 67 veces mayores que las normales en condiciones de tierra seca, y 15 veces mayores que las normales en condiciones de tierra húmeda.

En las Montañas Wasatch, de Utah, se hicieron algunos experimentos sobre erosión y desbordamiento en cierto número de parcelas de un décimo de acre cada una, con una cubierta de álamos y hierba. La evidencia geológica indica que la tierra de esos sitios experimentales ha permanecido substancialmente estable durante la mayor parte de un periodo de 20,000 años. Durante los primeros 11 años de los experimentos, cayeron 448 pulgadas de precipitación en forma de nieve y lluvias, algunas de gran intensidad. No hubo erosión de la tierra y sólo ocurrió un ínfimo desbordamiento superficial. Se removió después toda la vegetación y los desechos de la mitad de las parcelas, y durante los siguientes 6 años, cayeron 271 pulgadas de lluvias y nieve. En las parcelas desnudas, el desbordamiento superficial, causado por las lluvias de verano, fue solamente de 2.9 pulgadas, o sea, aproximadamente, el 1% de la precipitación total; pero fue suficiente para producir la erosión aproximada de 200 pies cúbicos de rica tierra negra superficial (casi lo suficiente para llenar 30 barriles de 55 galones cada uno), en sólo 0.1 de acre. Las parcelas intactas continuaron funcionando como antes.

Las tierras de propiedad pública, federales, estatales y comunales, comprenden más de una cuarta de los 1.9 billones de acres en el área continental de los Estados Unidos de Norteamérica. Muchas de ellas son tierras rurales y tienen gran importancia para la protección de las vertientes hidráulicas. Las tierras públicas incluyen las áreas de mayor suministro de agua en las regiones donde se encuentran, y una gran parte de las áreas significativas productoras de sedimentos en el Oeste son de propiedad pública. Generalmente están localizadas corriente arriba de las presas principales construidas para riego, producción de energía, control de inundaciones, suministros municipales y usos industriales. Por lo tanto, la clase de manejo de esas tierras públicas afecta en forma vital la sedimentación y la duración de la vida útil de una gran parte de los desarrollos hidráulicos de los ríos de la nación.

Por medio de 20 agencias, el Gobierno Federal administra con varios fines más de 455 millones de acres de tierras rurales en el área continental de nuestro país. En ellas están incluidas las clases de tierras con superficies muy extensas que se adminitran por las principales agencias encargadas de tierras de los Departamentos de Agricultura y del Interior.

Los bosques nacionales comprenden, aproximadamente, 161 millones de acres y están administrados por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. Con ciertas excepciones, principalmente en los estados de los Lagos, los bosques son en gran parte vertientes hidráulicas que suministran casi toda el agua para los valles semiáridos del Oeste, y en el Este se encuentran situados en los orígenes de muchos de los ríos principales. Aunque los bosques nacionales sólo constituyen el 21% del área de los 11 estados del Oeste, producen, aproximadamente, el 53% del desbordamiento total anual. Los bosques nacionales del Oeste producen anualmente un promedio de 14.0 pulgadas de agua, en comparación con las 3.3 pulgadas aproximadas de otras tierras de menor altura.

Las tierras de las vertientes hidráulicas

administradas por el Departamento del Interior de los Estados Unidos de Norteamérica, incluyen más de 264 millones de acres bajo la supervisión de la Oficina de Manejo de Tierras, Servicios a los Indios, Servicios de Parques Nacionales, Servicio de Pesca y Fauna y Oficina de Recuperación. La Oficina de Manejo de Tierras y el Servicio a los Indios, están encargados, respectivamente, de unos 179 millones y 57 millones de acres. En su mayoría esas tierras son regiones de pocas lluvias del Oeste semiárido, y, por tanto, la producción de agua es relativamente baja. Sin embargo, algunas de ellas producen cantidades de sedimento relativamente elevadas, porque las tormentas del tipo de "aguacero" azotan las áreas que tienen una escasa cobertura natural, o aquellas cuya cobertura quedó arruinada por el uso no reglamentado antes de que se promulgara en 1934 la Ley Taylor de Pastos.

Las tierras administradas por el Servicio de Parques Nacionales comprenden, aproximadamente, 14 millones de acres en 172 parques nacionales, monumentos y otros sitios de interés nacional. Se administran, de acuerdo con la ley, bajo el principio de "protección inviolable", que establece que no se consumirán ningunos recursos ni se destruirán ningunas características con operaciones de corta de madera, pastado, minería, caza u otros usos. Gran parte de la tierra administrada por el Servicio de Parques Nacionales se encuentra en áreas montañosas altas y escarpadas que constituyen importantes fuentes de agua. Los 14 millones de acres restantes de tierras del Departamento del Interior están incluidos en proyectos de recuperación y refugios para la fauna.

Las tierras de propiedad estatal incluyen, aproximadamente, 80.3 millones de acres, y de ellas, aroximadamente, 1 millón de acres han quedado reservados para sitios institucionales. Gran parte de las tierras sobrantes están situadas en tal forma que las hace que tengan gran valor significativo en las vertientes hidráulicas. En este grupo se incluyen 14 millones de acres de bosques estatales organizados; 2.4 millones de acres de parques estatales; 4.8 millones de acres de zonas reservadas a la fauna, y 57.9 millones de acres de tierras estatales de concesión o perdidas por falta de pago de impuestos, que se usan principalmente para pastos y labranzas.

Aproximadamente 3,100 bosques comunales en nuestro país incluyen unos 4.4 millones de acres de tierra. La mayoría de ellos se conservan con fines recreativos y para producción de madera, y de los 1,100 o más bosques municipales, aproximadamente una tercera parte se conservan para protección de las vertientes hidráulicas en las tierras de las que las municipalidades obtienen sus suministros de agua. El manejo y utilización de otros recursos en ellos debe efectuarse en tal forma que no interfiera con el fin primordial de la vertiente hidráulica comunal.

LA CONSERVACIÓN de las vertientes hidráulicas en las tierras de propiedad pública de nuestro país se originó como resultado del estímulo dado al movimiento por unos cuantos dirigentes que encabezaron ese movimiento de conservación hace más de 75 años. El progreso alcanzado desde entonces ha sido consecuencia de las actividades comunales, estatales y del Gobierno Federal.

El desarrollo de los bosques comunales es una de las características más significativas de la conservación de las tierras públicas de la nación en la actualidad, porque se establecieron localmente por el pueblo para llenar una necesidad común. Los bosques comunales para producción de madera, fines recreativos y, probablemente, también para suministro de agua, se establecieron antes de que los estados o el Gobierno Federal se interesaran activamente en los problemas de conservación de la tierra.

El interés de los estados en la conservación de los bosques data de muchos años atrás. En 1837, Massachusetts fue el primer Estado que adoptó una legislación autorizando una inspección de las condiciones de los bosques. Michigan y Wisconsin hicieron lo mismo en 1867, y aparentemente un memorial de la Asociación Norteamericana para el Progreso de la Ciencia, dirigido al Congreso y a las legislaturas estatales en 1874, estimuló las actividades de protección de tierras

de los estados, en beneficio de las vertientes hidrálicas. Ese memorial llamaba la atención al agotamiento de las maderas y a la necesidad del cuidado de nuestros bosques para conservar los recursos forestales e hidráulicos. En 1886, el Congreso Norteamericano Forestal pidió que las tierras federales en los orígenes de las corrientes se concedieran a los estados para conservarse y mantenerse a perpetuidad para utilidad pública, con la idea de mantener y preservar un abundante suministro de agua en todos los ríos y arroyos.

New York inició las actividades de conservación de tierras en beneficio de las aguas. En 1868 se estableció una Comisión de Pesquerías para investigar la destrucción de la cobertura forestal que parecía ser la causa de la contaminación del agua en detrimento de la pesca. En 1883 se dejaron de vender tierras estatales, y en 1885 se estableció una Comisión Forestal para organizar y cuidar las tierras forestales del estado, con el fin principal de proteger los suministros de agua. Se colocaron todas las tierras estatales bajo la protección de una reforma constitucional que prohibió la tala de maderas y estableció que las nuevas reservas de bosques se conservarían por siempre en su estado natural. La reservas de bosques han aumentado, aproximadamente, desde 685,000 acres a un total aproximado de 2.4 millones de acres, y se promulgó también una legislación autorizando las compras de tierras fuera de las reservas forestales, para el "mantenimiento consiguiente de los bosques, para protección de las vertientes hidráulicas, producción de madera y otros productos forestales, y para fines recreativos y otros semejantes".

Colorado fue el primer estado que promulgó disposiciones para el cuidado de las tierras forestales por medio de una cláusula en su constitución, que establecía que la legislatura estatal se encargaría de la protección y cuidado de las tierras forestales que fueran propiedad del Estado. Irritada por la política federal de disposición de las tierras públicas y por la destrucción de tierras federales en Colorado, la Convención Constitucional del Estado pidió al Congerso en 1876 que diera al Estado mismo el control de las tierras forestales federales en las regiones donde eran necesarios los riegos, a fin de evitar que el Estado resultara perjudicado impidiendo los daños que "traerían destrucciones y calamidades a todos los habitantes del llamado lejano Oeste".

La Junta Forestal del estado de California, organizada en 1885, exigió en su primer informe que todas las tierras boscosas federales y estatales que no fueran adecuadas para usos agrícolas, se reservaran permanentemente y se dejaran al cuidado de los funcionarios forestales. En 1888 la legislatura estatal pidió al Congreso que pusiera fin a la disposición de tierras federales en California y las conservara de modo permanente para la protección de las vertientes hidráulicas.

En Utah, aunque el estado no tomó medidas tempranas para el cuidado de las tierras en beneficio de las aguas, ya fuera en tierras propias o federales, lo hicieron los habitantes. Aproximadamente a principios del siglo, varias ciudades hicieron peticiones al Gobierno Federal para la protección contra inundaciones que se originaban en tierras federales descuidadas. Como resultado de las devastadoras inundaciones en Manti, Utah, que se originaron en gran parte en tierras federales, los habitantes enviaron un memorial al Congreso en 1903, con el fin de cuidar de las vertientes hidráulicas para la prevención de inundaciones, y poco tiempo después se creó el Bosque de Manti.

Durante esas actividades anuales de los estados, el Gobierno Federal no hizo esfuerzo alguno, o si acaso sólo en forma muy ligera, para corregir su destructora política de utilización de la tierra. El Secretario del Interior, Carl Schurz, durante su ejercicio de 1877 a 1881, exigió repetidas veces la creación de reservaciones y el cuidado para conservar las tierras de propiedad federal; pero el Gobierno Federal no despertaba de su letargo. Finalmente, en 1891, y debido grandemente a la insistencia del Secretario del Interior, Noble, se agregó una cláusula a una ley que reformaba las leyes sobre tierras, autorizando al Presidente para establecer reservas forestales

de dominio público. El interés en proteger los recursos hidráulicos y forestales era el móvil de todo esto. Gifford Pinchot, el jefe de Guardias Forestales, llamó a esa ley "la legislación más importante en la historia de la silvicultura en Norteamérica".

El cuidado de las vertientes hidráulicas en tierras federales es resultado, en gran parte, de la Ley de 4 de junio de 1897. Esa ley establecía que "no se establecerá reserva forestal pública alguna si no es con el objeto de mejorar y proteger los bosques dentro de la misma reservación, o con el propósito de asegurar condiciones favorables en los flujos de agua o de proporcionar un constante suministro de madera". La Ley Weeks, de 1º de marzo de 1911, estableció las adquisiciones de tierras "para la protección de las vertientes hidráulicas de las corrientes navegables", autorizando así al Gobierno Federal para incrementar su propiedad en las importantes vertientes hidráulicas extendiéndola a áreas fuera del dominio público.

Otro suceso importantísimo en el desarrollo de la política de protección de tierras fue una carta dirigida en 1905 por James Wilson, secretario de Agricultura, a Gifford Pinchot, por medio de la cual se transferían las reservas forestales al Departamento de Agricultura, dándoles el nombre de bosques nacionales. Al pedir al jefe de Guardias Forestales que "se encargara de que las aguas, maderas y forrajes de las reservas se manejen en tal forma que se obtengan a la larga los mayores beneficios para el mayor número posible de habitantes", esa carta estableció la política fundamental que ha guiado el manejo con fines múltiples de las tierras forestales nacionales.

Se ha llevado a cabo la práctica de manejo de las vertientes hidráulicas en tierras de propiedad pública, aplicando tres métodos generales: La utilización múltiple de las tierras, la prohibición o la clausura de áreas para la utilización de tierras y su manejo experimental en beneficio de los rendimientos hidráulicos.

La utilización múltiple de las tierras federales es el método de manejo que ha hecho que se tome en cuenta el agua juntamente con otros recursos en millones de acres. La clave del principio de utilización múltiple es la coordinación, desarrollándose y utilizándose cada recurso tan completamente como sea posible, sin interferir indebidamente con los demás. La labor inicial de integrar el manejo de las vertientes hidráulicas con otras actividades de utilización de la tierra no fue fácil. En las primeras etapas del desarrollo de nuestro país, en nuestras tierras públicas prevalecía la corta de madera y los pastos, sin ningún control en su uso y gran parte de ello en forma gratuita. Esas prácticas se encontraban ampliamente extendidas antes de que se considerara el retiro de las tierras federales en beneficio de las vertientes hidráulicas como una sana política nacional.

Después de ese retiro, la primera consideración para el manejo de las vertientes hidráulicas, dada en forma amplia, consistió en los esfuerzos para utilizar primordialmente la tierra para producción de madera y pastos, con la idea de que el uso conservador proporcionaría la protección necesaria de los recursos hidráulicos.

Durante el medio siglo que ha transcurrido, se ha mejorado considerablemente el manejo de la tierra en beneficio de los recursos hidráulicos en tierras federales, especialmente en relación con la producción de madera y utilización de forrajes. Al vender madera se acostumbra ahora incluir estipulaciones en los contratos de venta que tienden a proteger los valores de las vertientes hidráulicas. Son ejemplos de lo anterior los planes de diseño y las normas de construcción de caminos y sendas de deslizamiento, diseñados con el propósito de disminuir la erosión y el desbordamiento superficial, el control de los métodos de corta para aminorar los disturbios de la tierra, las limitaciones en las operaciones adyacentes a los arroyos y la necesidad del empleo de plantíos, siembras y pequeñas estructuras para controlar la erosión y el desbordamiento después de la corta en áreas donde se han causado disturbios.

El pastado se está manejando también de manera que se mejoren y conserven los recursos de las praderas y se propor-

cione una cobertura adecuada para evitar el desbordamiento causado por las lluvias y la erosión de la tierra, con la idea de que cada año quede la vegetación suficiente en las áreas pastadas para mantener la estabilidad de la tierra, y que sólo quede disponible para pastos la vegetación que no sea necesaria para ese objeto. El pastado se interrumpe temporalmente en algunas localidades para restaurar las condiciones satisfactorias de las vertientes hidráulicas y para proteger las mejoras que restauren las praderas y las mismas vertientes en tierras gravemente deterioradas.

Las actividades de construcción se efectúan también bajo especificaciones encaminadas a impedir la erosión y el desbordamiento de las inundaciones. Esas actividades incluyen la planeación y construcción de caminos, el establecimiento de derechos de vía para líneas de servicios públicos, actividades mineras y otros usos que perjudiquen la superficie.

Otros tipos de trabajos que se llevan a cabo en tierras federales para beneficiar o hacer mejor uso de los recursos hidráulicos, incluyen la propagación de las aguas, las terracerías para el control de la erosión, la estabilización de las paredes de los arroyos y canales, y las zanjas de control con estructuras y vegetación.

Ninguna de esas actividades ha sido más importante para el manejo de las vertientes hidráulicas que el desarrollo de la protección contra el fuego. La protección contra el fuego ha crecido enormemente en eficacia en las tierras públicas desde 1900, y ha evitado la extensa destrucción de la cobertura y tierra superficial de las vertientes hidráulicas y los daños consiguientes producidos por la erosión, inundaciones, sedimentación y contaminación de aguas que se originan en esa destrucción.

Aun cuando ha habido una mejoría considerable en el manejo de utilización múltiple de la tierra durante las últimas décadas, las condiciones de las vertientes hidráulicas no son todavía lo suficientemente satisfactorias en cierta parte de nuestras tierras federales. Algunas de ellas continúan declinando y no se han corregido los daños causados a la tierra debidos a las cortas excesivas, los pastos y el fuego, ocurridos antes de la legislación actual.

La mayor parte de las tierras estatales se usa para fines múltiples, aunque el manejo de los parques y las reservas de fauna tienen un fin primordial. El manejo de las tierras estatales para uso múltiple presenta una gran diversidad de condiciones, que varían desde buenas hasta poco satisfactorias, desde el punto de vista de las vertientes hidráulicas. La protección contra el fuego en los bosques estatales generalmente es buena. La conservación de la cobertura forestal en los bosques estatales para la protección de las vertientes hidráulicas se reconoce generalmente como parte esencial de su manejo y se está dando cada vez más atención al manejo de las vertientes. Algunas otras tierras estatales, especialmente en el Oeste, sin embargo, reciben poca o ninguna protección o cuidados de manejo, se encuentran en malas condiciones y se dañan por el desbordamiento acelerado y la erosión. La falta de fondos y el esparcimiento de los derechos de propiedad contribuyen a las dificultades de manejo de esas tierras estatales.

La clausura significa la prohibición de todos o casi todos los usos normales, a fin de evitar que se dañe la calidad de los recursos hidráulicos.

El área total a la que se aplica la clausura no es muy grande, pero se incluyen áreas considerables en las vertientes hidráulicas clausuradas con el fin principal de proteger los suministros comunales de agua. Ejemplos de ello son las vertientes hidráulicas que surten las ciudades de Colorado Springs, Colorado, Santa Fe, New Mexico y Portland, Oregon.

Muchas personas creen que las modernas facilidades de tratamiento del agua son tales que sólo necesitarían en raras ocasiones una completa clausura para proteger la calidad de los recursos hidráulicos. Muchas vertientes hidráulicas en donde es imposible la clausura debido a las normas de propiedad de la tierra, proporcionan suministros municipales satisfactorios, y en otras sólo se permite un uso limitado.

En los 91,000 acres de la vertiente municipal de Cedar River de Seattle,

Washington, se permite una extensa corta en las tierras de la ciudad, que comprenden, aproximadamente, las tres cuartas partes de la vertiente, así como en las tierras adyacentes de bosques nacionales, pero se prohibe la entrada al público. Un informe especial de la Comisión en 1944 recomendó el uso controlado de la vertiente con sus valores colaterales de producción de madera y no una protección completa.

Springfield, Illinois, cuenta con una vertiente hidráulica municipal de 4,300 acres que suministra agua y energía eléctrica a la ciudad, así como también una entrada anual aproximada de 50,000 dólares por concepto de usos recreativos y residenciales. Se está desarrollando también la producción de madera.

Newark, New Jersey, tiene una vertiente hidráulica de 41,000 acres para la ciudad, así como un valioso bosque, obteniéndose una entrada considerable de su madera sin que peligre el rendimiento de agua.

La vertiente hidráulica de Corvallis, Oregon, incluye 8,910 acres. Más de la mitad consiste de bosques nacionales y casi todo el resto es propiedad de la ciudad. Se ha prohibido la corta de madera desde 1920. Alrededor de 1945, las proposiciones para desarrollar el área con caminos que permitieran la corta de madera bajo un programa de rendimientos sostenidos, encontraron una fuerte oposición; pero más tarde, un volumen considerable de árboles maduros y extremadamente maduros fue derribado por las tormentas de invierno. Los árboles caídos y los veranos secos crearon condiciones ideales para una epidemia de escarabajos de la corteza que destruyó gran cantidad de madera verde. En 1952 se hizo evidente que era necesario tomar algunas medidas para disminuir los riesgos de incendios, recuperar algunas de las pérdidas en la madera de aserradero, desarrollar caminos para ayudar a detener las futuras epidemias y proteger los valores de la vertiente hidráulica regenerando una vigorosa cobertura forestal en las áreas afectadas. La ciudad y el Servicio Forestal cooperaron en el desarrollo de un plan para llevar a cabo operaciones de corta de madera.

Sin embargo, en esa etapa se complicó la debida atención a todos los recursos de las vertientes hidráulicas. El trabajo de construcción de caminos, que normalmente necesitaba un periodo de 15 a 20 años, tenía que efectuarse en menos de 5, si se quería que tuviera eficacia para la represión de las infestaciones de insectos y en la disminución de los riesgos de incendio. Se necesitaban también medidas especiales de salubridad, debido a las extensas operaciones esparcidas en toda la vertiente. Tenían que modificarse los sistemas silvícolas para enfrentarse a la emergencia, y era probable que los rebaños de venados que se encontraran alrededor de los claros presentaran algunos problemas y posiblemente estorbaran el establecimiento de los retoños de abeto Douglas, hollándolos y ramoneándolos. Esa vertiente hidráulica es una reserva de fauna y se hallaron evidencias de excesos de ramoneo y de movimiento de tierras cerca de los arroyos.

Las observaciones efectuadas a fines de 1954 indicaron que las operaciones de corta de madera en la vertiente hidráulica de Corvallis eran adecuadas para enfrentarse a la emergencia causada por las infestaciones de los insectos, pero que no podían apreciarse rápidamente los efectos que causarían en la vertiente hidráulica. En cualquier forma, esa vertiente nos da la historia de un caso interesante que permitirá apreciar los méritos relativos de prohibir o permitir las operaciones de corta de madera en una vertiente municipal.

La clausura será siempre una importante medida de manejo de las vertientes hidráulicas en algunas áreas críticas, tales como los declives escarpados, en los que cualquier utilización causaría serios disturbios en las tierras. Será necesaria también durante periodos limitados para ayudar a la restauración de las áreas dañadas a su utilidad anterior.

Un tercer método de manejo de las vertientes hidráulicas, encaminado primordialmente a aumentar el rendimiento de agua, consiste en la etapa experimental. El método enfatiza el control de la vegetación y las investigaciones efectuadas en el Sudeste y en la Región Inter-

montañosa han indicado que puede aumentarse el flujo de verano de las corrientes mediante el control de la vegetación a lo largo de sus riberas. Los experimentos efectuados han demostrado que en ciertas condiciones los repetidos cortes de la cobertura forestal pueden resultar en un aumento considerable del flujo de las corrientes. Se han iniciado experimentos en las Montañas Rocallosas para determinar el efecto de las cortas de madera en las áreas altas con mantos profundos de nieve, en la acumulación de ésta y en el flujo de las corrientes. Estas y otras actividades de investigación prometen un manejo más intenso de las vertientes hidráulicas en lo futuro.

La Asociación Forestal Norteamericana ha compendiado las principales necesidades de las vertientes hidráulicas, que comprenden lo siguiente:

Un inventario nacional de las áreas que sean fuentes de aguas, con especial referencia a las cantidades, proporciones y cualidades de los flujos de agua, y a los tipos, extensión y valor de los usos de esa agua.

La clasificación de los bosques de las vertientes hidráulicas en términos de sus requisitos y valores para la mayor producción de agua, prevención de la erosión y disminución de los daños causados por las inundaciones y sedimentos.

La aplicación de medidas para la protección y manejo de los bosques, destinadas a aumentar sus contribuciones para un determinado conjunto de condiciones en relación con los requisitos de madera, recreativos, y otros productos y servicios forestales.

La aplicación intensa y más amplia de medidas para mejorar las tierras y el flujo de agua en los bosques y otras partes dañadas de las vertientes hidráulicas.

Lo expresado anteriormente se refiere especialmente a las tierras forestales, pero puede aplicarse también en gran parte a las tierras de pradera.

G. R. Salmond *es jefe de la División de Manejo de Vertientes Hidráulicas del Servicio Forestal, habiéndose graduado en el Colegio de Silvicultura de la Universidad del Estado de New York y entrando a formar parte del Servicio Forestal en 1926.*



En algunas partes del país, como sucede en Upland, California, el bienestar de las comunidades altamente desarrolladas está estrechamente asociado con las condiciones de las vertientes hidráulicas de las montañas vecinas.

A. R. CROFT *está encargado del manejo de las vertientes hidráulicas en la División Recreativa y de Tierras de la Región Intermontañosa del Servicio Forestal, habiéndose graduado en el Colegio Agrícola del Estado de Utah. Se unió al Servicio Forestal en 1934.*

El proyecto Yazoo-Little Tallahatchie para la prevención de inundaciones

William L. Heard y Víctor B. Mac-Naughton

CADA AÑO SE HAN desprendido 100 millones de toneladas de tierra de las colinas de la vertiente hidráulica del Yazzoo-Little Tallahatchie, en el noroeste de Mississippi, y 10 ó 15 inundaciones han castigado una quinta parte de la tierra cada año. Los daños anuales causados por las inundaciones y los sedimentos han excedido de 4.5 millones de dólares. Lo anterior da una idea de los enormes problemas ocasionados por esa cuenca, que cubre, aproximadamente, una quinta parte del estado de Mississippi.

Toda la vertiente comprende unos 5.7 millones de acres. Los 1.5 millones de acres occidentales se encuentran en una planicie nivelada de aluvión que forma parte de las fértiles tierras bajas del Delta del Mississippi. Los 4.2 millones de acres restantes de tierras altas onduladas o de colinas, comprenden la provincia del Proyecto de Prevención de Inundaciones del Yazoo-Little Tallahatchie. Las tierras altas se desaguan por medio de cuatro tributarios principales, los ríos Coldwater, Tallahatchie, Yocona y Yalobusha.

El grado de erosión varía en las áreas principales de tierra, que quedan en fajas sucesivas que se extienden a todo lo largo de la vertiente. A lo largo del lindero oriental extremo queda el crestón de Pontotoc, una banda de arcilla arenosa roja que es bastante resistente a la erosión, pero debajo de la cual hay profundas capas de arena de menor resistencia. Al Oeste se encuentra el área de Flatwoods, de tierras arcillosas pesadas resistentes a la erosión de hondonadas. En seguida se encuentra la zona de Clay Hills, de materiales de las Llanuras Costeras superiores, debajo de las cuales hay marga a escasas o moderadas profundidades, que queda sujeta a una seria erosión de mantos y a la producción de hondonadas moderadas. El resto de las tierras altas, el área de Brown Loam, consiste de margas moderadamente profundas a profundas sobre arenas profundas o una mezcla de arena, arcilla y grava. En esta zona una gran cantidad de tierra ha quedado virtualmente destruida por la erosión de hondonadas, la erosión en las orillas de las carreteras es muy seria, y a lo largo de los riscos occidentales la erosión de los arroyos es espectacular.

Las tierras forestales forman casi la mitad de los 4.2 millones de acres de tierras altas. Un 85% de las tierras forestales está en manos de pequeños propietarios particulares, consistiendo principalmente de tierras boscosas de granja. Como se ha ejercido muy poco o ningún manejo forestal adecuado, los plantíos de madera han quedado reducidos a una preponderancia de árboles pequeños y defectuosos de escaso valor. Los incendios sin control alguno y los pastos, han destruido gran parte de la cobertura superficial y han sido parcialmente responsables del hecho de que casi las dos terceras partes de la tierra forestal contenga plantíos de menos de 300 pies-tabla por acre. La producción promedia anual por acre es sólo de 62 pies-tabla, o sea menos de una quinta parte de su potencialidad. Son excepciones a estas condiciones forestales generales las tierras del Bosque Nacional de Holly Springs y del Proyecto núm. 21 de Utilización de la Tierra, que demuestran la mejoría que es posible obtener en menos de dos décadas de control de incendios y un manejo mejorado.

EN LAS TIERRAS de cosecha y en los pastos se reflejan también los usos y abusos anteriores de la tierra. El algodón, con su sistema de cultivo de labranza limpia, fue un factor principal para la deterioración de la tierra y para la deterioración económica de esta área. El cultivo de las superficies de las laderas de las colinas y su abandono subsecuente

a los estragos de la erosión, más los incendios y el exceso de pastos de las tierras de hierba, han aumentado grandemente el desbordamiento y la sedimentación. Como resultado, unos 255,000 acres quedaron sujetos en 1955 a una erosión crítica. No sólo quedaron inapropiados para cualquier uso, sino que la tierra estéril proveniente de ellos obstruye los canales de los convoyes y se deposita por las aguas de las inundaciones en los campos de las tierras bajas que antes eran fértiles. Se ha disminuido a tal grado la capacidad de infiltración de la tierra que en algunos de los tributarios secundarios una precipitación de menos de una pulgada de lluvia causa inundaciones ligeras, y aun las lluvias normales causan 10 ó 15 inundaciones cada año y arrastran millones de toneladas de tierra a los valles.

Las condiciones económicas en la zona de tierras altas reflejan las condiciones generales de la tierra. A principios de la década de 1940, cuando se hizo el informe de medición de la vertiente hidráulica de Yazoo, había unas 36,000 familias de agricultores con entradas netas en efectivo menores de 50 dólares al año, y el 38% de todas las granjas estaba hipotecado en un promedio del 42% de su valor total. Como sólo tenía escasos recursos económicos, la población rural carecía generalmente de atención médica adecuada, de las facilidades sanitarias más elementales y de dietas bien equilibradas. Las bajas entradas en efectivo impedían también la compra de fertilizantes necesarios para la rotación adecuada y el desarrollo de cosechas, así como la instalación y mantenimiento de mejoras para la conservación de las tierras. La elevada población (112 habitantes por milla cuadrada de tierras de cosecha) y la falta de industrias que pudieran haber suministrado o suplementado las entradas, se combinó para ejercer una presión todavía mayor en las tierras excesivamente trabajadas.

Se autorizó la primera medida de auxilio en 1936. El Cuerpo de Ingenieros emprendió un proyecto completo para desarrollar la vertiente hidráulica, que se basaba principalmente en la construcción de cuatro grandes presas de retención del agua de las inundaciones y en la ampliación de canales y rectificación de los canales de las corrientes principales abajo de las presas. Se han completado ya los elementos principales del programa, se han construido todas las presas y se ha completado una gran parte de la obras de mejoramiento que eran necesarias en los canales.

El Proyecto de Prevención de Inundaciones del Yazoo-Little Tallahatchie, un intenso programa de tratamiento de las tierras para el control de la erosión y de las inundaciones, se inició conjuntamente en 1946 por el Servicio de Conservación de Tierras y el Servicio Forestal. Se obtuvo dirección local entre los comisionados de los distritos de conservación de tierras de los condados.

Sus cuatro objetivos principales son los siguientes: La corrección de los abusos de la tierra, la disminución del número y duración de las crecientes de los tributarios, la disminución de la sedimentación y la estabilización de las corrientes.

Pueden agruparse en tres categorías principales las actividades llevadas a cabo bajo el programa coordinado: Ajustes en la utilización de la tierra, tratamiento de la misma y desarrollo de canales, incluyendo la estabilización de las corrientes.

El ajuste del uso de la tierra es la fase clave de todo el programa. Se determina el mejor uso para cada porción de tierra bajo la base de sus capacidades. Se restringen generalmente las cosechas cultivadas a las tierras bajas fértiles relativamente niveladas. Los declives moderados se destinan a pasturas o para cultivos restringidos, con las medidas adecuadas de conservación. Los declives escarpados y la parte superior de los crestones se destinan generalmente a usos forestales. Cada año se dedica el mejor uso agrícola permanente a obtener una producción total máxima y a disminuir las pérdidas de tierras y aguas.

Se han preparado planes aproximadamente para un millón de acres en 6,500 granjas en la vertiente, y se ha establecido el uso apropiado de los mismos. La conversión a los usos adecuados se ha

estado efectuando en proporciones alentadoras, y más de 45,000 acres de tierras ociosas o dañadas por las hondonadas, así como de escarpadas tierras de cosechas, se han convertido desde 1947, y se han convertido también otros 45,000 acres adicionales de tierras ociosas y escarpadas en tierras de cosecha dañadas por la erosión a hierbas o legumbres perennes, como resultado de las actividades en la vertiente hidráulica.

El tratamiento de la tierra tiende a su rehabilitación para disminuir el desbordamiento superficial, la erosión y la sedimentación, y para aumentar su productividad. Se da énfasis semejante al tratamiento de las tierras de cosecha, de pasturas y forestales.

La aceptación y aplicación de algunas medidas deseables de mejoramiento han sido muy lentas en algunas tierras de cosecha, y no han podido vencerse las tradiciones relacionadas con la producción de cosechas de cultivos limpios, tales como el algodón o el maíz. Se han adoptado con lentitud las rotaciones que combinan el empleo alternado de hierbas o legumbres perennes en el sistema de cultivo, y en contraste, se han adoptado generalmente los cultivos de cosechas de labranza abierta en contornos, o por medio de surcos que conservan la tierra y el agua. Se han empleado también en forma bastante extensa las medidas de auxilio, tales como las terracerías y vías de agua.

Actualmente se están manejando ya en debida forma 228,000 acres del total de 837,405 acres de tierras de cosechas en la vertiente, mediante la aplicación de esas medidas de conservación. Se han hecho terracerías, aproximadamente, en 80,000 acres de tierras de cosechas que han requerido el establecimiento de 2,100 acres de vías de agua de campo. La mayoría de los 400,000 acres de tierras de cosecha en las colinas, se cultivan en contornos y anualmente se plantan más de 25,000 acres con cosechas de cobertura de invierno. Se está siguiendo un tipo de rotación en 225,000 acres de tierras de cosecha, que aunque no siempre adecuado indica la tendencia a alejarse del sistema continuo de un solo cultivo.

Se ha alentado el mejoramiento y desarrollo de los pastos y se ha apreciado una fuerte tendencia hacia el cultivo de tierras de hierba y la cría de ganado. Se ha mejorado grandemente el empleo de los escarpados declives que anteriormente quedaban ociosos o con algunos cultivos, especialmente en la zona de Brown Loam de la vertiente, que es altamente susceptible a la erosión. Actualmente se destinan a pastos grandes áreas o se están produciendo forrajes de plantas, tales como la lespedeza sericea o el kudzo. Se han hecho también progresos encomiables para mejorar los pastos exhaustos así como otras formas de mejoramiento de ellos. Desde 1947 se han mejorado, aproximadamente, 111,800 acres de tierras de pasturas, y de éstos se han sembrado y fertilizado 84,000 acres y se han construido más de 2,200 estanques para abrevar el ganado.

El tratamiento de las tierras forestales incluye el control de los incendios, la revegetación de las tierras desnudas abandonadas que se adapten mejor a usos forestales, la siembra de refuerzos en los plantíos escasos y el mejoramiento y manejo de los plantíos madereros.

De todas esas medidas de auxilio, sin duda el control de los incendios es la contribución más eficaz para el control de las inundaciones desde el punto de vista de su influencia sobre el total de desbordamiento de agua. La eliminación de los incendios naturales mejora las condiciones que incrementan la capacidad de absorción del agua en la tierra, facilita el establecimiento de una buena cobertura vegetativa y hace posible el mejoramiento general de las condiciones hidrológicas.

En 1954 todos los condados de la vertiente hidráulica, con excepción de tres, se encontraban bajo la protección organizada suministrada por la Comisión Forestal de Mississippi con ayuda económica federal, de acuerdo con la Ley Clark-McNary, y se promulgó la legislación necesaria para que quedaran protegidas las áreas restantes. Aunque no se ha alcanzado todavía la meta deseada de 0.5, el actual promedio anual de 1 a 2% de incendios en el área protegida, indica el progreso obtenido. El área promedia

que se quema anualmente en los condados faltos de protección es del 20 al 40% de la tierra forestal.

Aunque el programa de plantación de árboles es uno de los mayores de la nación, apenas se ha iniciado la labor de revegetación. Se calcula que, aproximademente, 200,000 acres de tierra dañadas por la erosión necesitan arbolarse en 1954. Además, deben interplantarse otros 500,000 acres de plantíos forestales escasos, a fin de proporcionar una cobertura protectora a la vertiente hidráulica.

Se han plantado más de 64,000 acres, y debido a su rápido crecimiento y abundante producción de agujas, el pino loblolly ha demostrado ser uno de los mejores estabilizadores de hondonadas. Las plantaciones hechas por el Cuerpo Civil de Conservación, en 1939, en las hondonadas, no permiten dudar de que los árboles pueden restablecer las tierras dañadas por la erosión. En ellas el suelo queda cubierto por una gruesa capa de agujas de pino, y en 1954 los plantíos quedaron listos para sufrir una corta ligera.

Debe mejorarse el manejo de las tierras forestales para restaurar su productividad de madera y los valores de la vertiente hidráulica en los dos millones de acres de bosques existentes, así como para proteger las inversiones en los 250,000 acres de bosques nuevos producidos por la revegetación de las tierras agotadas y abandonadas.

La labor principal en el desarrollo del proyecto consiste en tener plantíos completos de especies deseables. En los declives superiores y en las superficies de los crestones, esto significa una labor en un total aproximado de 400,000 acres. El plantío de retoños de pino seguido de su distribución es la única forma deseable en que puede llevarse a cabo ese trabajo en la región. A medida que maduran las numerosas y extensas plantaciones de pino, habrá que emprender la tarea de aclararlos y manejarlos debidamente.

En los declives más bajos y en las tierras inferiores, se necesitan cortas de auxilio en unos 500,000 acres. A veces ocurre una reprodución deseable, pero a menudo hay que remover un exceso de maderas duras defectuosas y de baja calidad.

La participación en las prácticas forestales ha recibido ímpetu de los pagos de incentivo para la plantación y mejoramiento de los plantíos madereros bajo el programa de estabilización de la conservación agrícola. En 1954, los terratenientes plantaron, aproximadamente, 16 millones de retoños de pino en la vertiente hidráulica del Yazoo.

Las investigaciones efectuadas han demostrado la importancia de las medidas de auxilio en tierras forestales. Por ejemplo, el desbordamiento de los bosques de pinos, en la época en que se hizo la inspección, era siete veces mayor que el de los plantíos de pinos semejantes que estaban protegidos contra el fuego, los pastos y las cortas excesivas.

El MEJORAMIENTO de los canales constituye una parte importante de los ajustes para el uso de la tierra y en el tratamiento de las vertientes. En la forma autorizada originalmente por el Congreso, un intenso programa de ajuste y tratamiento de tierras constituía la base para la corrección de los problemas existentes en las vertientes hidráulicas. Sin embargo, a medida que se acumulaba la experiencia, la gente se dio cuenta de que para un programa progresivo se necesitarían medidas adicionales de auxilio, y los trabajos en los canales son un ejemplo de esa necesidad.

El mejoramiento de los canales, empleado prudentemente en el mejoramiento de la tierra, disminuye las descargas máximas de las corrientes y acorta la duración de los desbordamientos en las tierras de los valles cuando ocurren inundaciones. Se han hecho progresos significativos en la rectificación de los canales de los arroyos en el Yazoo y se han completado cierto número de proyectos importantes.

Un ejemplo de ello es la terminación de los trabajos en los canales de la vertiente hidráulica del Tallahatchie. En sus etapas iniciales de planeación total, un problema importante era el de proteger y desarrollar los 84,000 acres de valles fértiles en la parte superior de la vertiente, la mitad de los cuales se inundaba casi 10 veces al año. Se estableció una prioridad de operaciones para abar-

car los objetivos dentro de sus relaciones adecuadas.

Los canales se construyeron en 1912-1915 y, aproximadamente, durante 20 años la mayoría de ellos funcionó satisfactoriamente; pero debido a la creciente cantidad de tierra que se depositaba en ellos, y probablemente también a otros factores, los desbordamientos se hicieron frecuentes, y esa frecuencia y su duración acabaron finalmente por convertirse en un peligro para la vida agrícola de aquella región.

Un estudio del problema demostró que en 10 años, de 1939 a 1950, habían ocurrido 88 desbordamientos en Etta, una estación de medición cerca de la línea divisoria de los condados de Union y Lafayette. Cuarenta y uno de esos desbordamientos ocurrieron durante la estación de cosechas, de mayo a septiembre, causando daños en ellas. Los desbordamientos duraron de 1 a 10 días, y corriente arriba, donde el canal estaba aún más deteriorado, las frecuencias de esos desbordamientos fueron mucho mayores.

La limpieza del canal y la remoción de los extensos depósitos de tierra y vegetación con una cantidad nominal de ensanchamiento ha disminuido el promedio de las perjudiciales inundaciones en ese punto desde cuatro al año, durante la estación de cosechas, a una sola.

Para financiar y conservar las mejoras, fue necesaria la reactivación y reorganización por los dirigentes locales de cierto número de distritos de desagüe. Aproximadamente la mitad del costo real del proyecto se hizo a expensas de la localidad, y en otro proyecto, el costo local fue mayor de 175,000 dólares, lo que indica que si los intereses locales comprenden y aceptan los objetivos de los grandes proyectos, contribuirán gustosos con una parte de los costos.

Esos proyectos han dejado al descubierto una cuestión importante: "¿Qué grado de protección de las tierras de los valles es económicamente conveniente y deseable para los intereses locales?" A medida que se consideran otras soluciones en relación con el propósito de disminuir las inundaciones, se ha hecho evidente que el grado de protección varía con las condiciones y los habitantes.

Ha comenzado a hacerse un esfuerzo inicial en relación con el empleo de las presas que retrasan el flujo del agua para llevar a cabo este propósito. El costo de los derechos de paso y los escasos beneficios han limitado generalmente la aplicación de esta solución, aunque en muchas situaciones encontradas en las vertientes hidráulicas puede usarse ese método de tratamiento cuando los terratenientes quedan convencidos de sus ventajas.

Se han iniciado varios proyectos de estabilización de las riberas de las corrientes en un intento de desarrollar métodos para la estabilización de los numerosos cortes y meandros de las corrientes. El éxito de la instalación de obras de esta clase requiere el desarrollo de un criterio para manejar la tremenda descarga del desbordamiento a altas velocidades, y la formación de organizaciones para ayudar a financiarlas y conservarlas, y resta mucho trabajo por hacer.

Se ha obtenido considerable éxito en la estabilización de los meandros de los pequeños arroyos, principalmente mediante el uso de retardos posteriores o dobles líneas de pilotes creosotados colocados en lugares estratégicos en las curvas y amarrados con alambre de púa para formar una barrera mecánica de seis pies que apresura el crecimiento de la vegetación a lo largo de los pies de las riberas que se están desmoronando, empleándose para tal efecto sauces, álamos norteamericanos, sicomoros y kudzo.

La organización del proyecto y los procedimientos de planeación empleados para iniciar el programa del Yazoo podrían proporcionar puntos de guía para los dirigentes de otras localidades que se enfrentan a problemas semejantes. En el programa del Yazoo, las agencias federales, estatales y locales cooperaron con los terratenientes particulares para alcanzar los diferentes objetivos en una determinada sección de la vertiente hidráulica. La extensión del programa hizo necesario que se dividiera la vertiente en pequeñas unidades, a fin de que los dirigentes y los trabajadores que carecían de la preparación necesaria pudieran apreciar la

parte individual que les correspondía en el trabajo.

El Servicio de Conservación de Tierras mantiene un personal técnico que consiste de un técnico de tierras, conservador de tierras, ingeniero civil y guarda forestal, bajo la supervisión de un funcionario que dirige el trabajo de los técnicos, ayuda a planear el programa y a llevar a cabo sus operaciones. Se aumentó el personal de conservadores de área para incluir patrullas de ingenieros, y el personal de unidades de trabajo de los planeadores y ayudantes de las granjas. El Servicio Forestal mantiene una fuerza de 15 guardas forestales que trabajan dentro de la estructura y planes del Servicio de Conservación de Tierras. A otro guarda forestal se asigna la tarea de llevar a cabo la fase forestal de la planeación de la subvertiente. Un gerente de proyectos agregado al personal del supervisor forestal del Mississippi, que representa el Servicio Foretal, se encarga de la supervisión directa de las labores forestales.

Cuando un terrateniente indica que se encuentra listo para participar en las obras de la vertiente hidráulica, el planeador del Servicio de Conservación de Tierras lo ayuda a determinar las necesidades de sus tierras, dando énfasis a aquellas que acelerarán la consecución de los objetivos de la vertiente hidráulica. Se proporciona ayuda por medio de la junta de gobierno del distrito de conservación de tierras, y las determinaciones se incluyen en un plan distrital de granjas. Esas determinaciones incluyen el total de las necesidades de la granja.

El técnico del Servicio Forestal es responsable de toda la ayuda técnica necesaria para la aplicación de las prácticas forestales. El planeador del Servicio de Conservación de Tierras es responsable de las prácticas que se efectúen en tierras abiertas, así como de las prácticas de ingeniería. En esa forma el plan de granja se convierte en una guía de funcionamiento, tanto para los terratenientes como para los representantes de las agencias, y proporciona una base para hacer los ajustes necesarios en la granja en relación con la utilización a largo plazo de la tierra.

Se ha desarrollado una estrecha relación de trabajo entre las agencias del Departamento de Agricultura y la oficina del distrito de Vicksburg del Cuerpo de Ingenieros.

Después de las conferencias preliminares sobre mejoras de los canales de las corrientes, el Servicio de Conservación de Tierras, a petición del Cuerpo de Ingenieros, preparó un mapa de posibilidades de utilización de las tierras y otro de normas de esa utilización como base para emplearse en todas las tierras que se encuentran bajo la jurisdicción de los ingenieros adscritos a las cuatro grandes presas. Los técnicos del Servicio de Conservación de Tierras prepararon los planes de granjas distritales para todas las tierras arrendadas por los ingenieros a los terratenientes particulares para usos agrícolas. Esos planes incluyen medidas que contribuyen a la realización de los objetivos del programa de la vertiente hidráulica. Los técnicos del Cuerpo de Ingenieros ayudan a los arrendatarios para que lleven a cabo sus planes de granjas.

El Cuerpo de Ingenieros de acuerdo con el plan general de utilización de tierras, plantó más de 6 millones de renuevos de pino en tierras ociosas o dañadas por la erosión.

Toda la vertiente hidráulica se dividió desde un principio en 234 vertientes menores o locales, y las más pequeñas se agruparon en 56 subvertientes, debiendo terminarse para 1962 la determinación de las necesidades y programas específicos para cada una de ellas. Se ha fijado para 1970 la terminación de todo el proyecto, y los técnicos del Servicio de Conservación de Tierras y del Servicio Forestal, han tomado la iniciativa para determinar las necesidades de cada una de las subvertientes. Empleando datos obtenidos de las mediciones de tierras, fotografías aéreas y otro material, se han preparado mapas de normas para la utilización de la tierra como base para precisar el control de inundaciones y las necesidades de conservación de esas subvertientes, y se ha llegado a un acuerdo con los grupos locales en relación con los requerimientos del programa.

Todo lo anterior constituye la base del plan de trabajo y del programa de acción.

Un plan de trabajo detalla el programa para cada vertiente hidráulica. Debido a las grandes variaciones en las condiciones y en los problemas, los objetivos pueden variar considerablemente entre una subvertiente y otra. Detalla también los procedimientos que deberán seguirse, y fija las responsabilidades de las agencias y los terratenientes en relación con su contribución a los costos y al mantenimiento. Se incluye un detalle de cada fase del programa en debida relación con los demás trabajos o prácticas.

Se asigna la responsabilidad primaria en la dirección de los programas a los comisionados de los distritos de conservación de tierras, y se suministra ayuda federal a través de esos mismos distritos.

Cuando se completa el plan de trabajo para una determinada vertiente hidráulica y quedan disponibles los fondos necesarios, se inician las operaciones en el distrito en que está localizada la subvertiente o se incrementan las operaciones del distrito para incluir la nueva subvertiente.

Se lleva a cabo un esfuerzo coordinado para familiarizar a todos los interesados y a las agencias relacionadas con los objetivos que se persiguen, con sus responsabilidades y con la necesidad de cooperación. Los comisionados del distrito de conservación de tierras han patrocinado en toda la vertiente hidráulica la organización de asociaciones relacionadas con las vertientes, o de comités directivos, a fin de que el encargado de cada subvertiente pueda estar bien informado acerca de los cambios necesarios en la utilización de la tierra, así como de los proyectos de ingeniería.

A fin de incorporar las necesidades e intereses del terrateniente en todo el programa de prevención de inundaciones, se le ayuda a preparar un plan de conservación de la prevención de inundaciones en su granja, que representa su aceptación de la parte que debe de llevar a cabo para conseguir la utilización de la tierra, el control de la erosión u otros objetivos en sus propias tierras. Ese plan representa también la parte que el distrito tiene que llevar a cabo para conseguir esos objetivos, con la ayuda de la agencia relativa. Se alienta la máxima participación del terrateniente, a fin de que aprecie y comprenda sus responsabilidades hacia sus tierras y hacia sus vecinos.

Hay materiales y servicios disponibles para ayudar al cooperador del distrito a llevar a cabo medidas claves que contribuyan a los objetivos deseados, y toman la forma de concesiones a los distritos de conservación de tierras, que se ajustan en tal forma que requieren una contribución aproximadamente igual de los terratenientes en esas prácticas o en otras. El uso de las concesiones queda bajo la supervisión de los técnicos del Servicio de Conservación de Tierras o del Servicio Forestal, a fin de cerciorarse de que esos materiales o servicios disponibles se usen del modo más eficiente.

Frecuentemente se necesita tapar hondonadas o construir depósitos de desazolve más grandes, obras que el Gobierno construye a base de contrato para suplementar los tratamientos vegetativos.

Los problemas tales como la erosión de los lados de las carreteras y la sencilla estabilización de las riberas de las corrientes, se manejan generalmente bajo una base semejante a la de los plantíos críticos de erosión. Las juntas de supervisión de los condados o los departamentos estatales de carreteras, asumen la responsabilidad de los trabajos de estabilización de la erosión a lo largo de las carreteras. Los terratenientes, los grupos locales o los distritos de desagüe asumen la responsabilidad de las obras de estabilización de las riberas de las corrientes.

El camino de retorno para las buenas condiciones de la tierra y la prosperidad general de la vertiente hidráulica del Yazoo es bastante difícil. El éxito de la terminación y mantenimiento de las medidas correctivas, necesitará fe, visión y duros trabajos de parte de los terratenientes, pero las posibilidades son alentadoras.

Los rendimientos de las futuras cosechas serán mayores mediante la disminución del daño de las inundaciones en las tierras bajas. El depósito de arena estéril en los campos fértiles no será ya una constante amenaza. Las mejores prácticas de labranza darán por resultado una mayor producción de una menor cantidad

de tierra de cosechas. La diversidad de los programas agrícolas permitirá que los pequeños agricultores abandonen el algodón para cultivar otras cosechas.

El control de las hondonadas disminuirá los problemas de sedimentación. Los canales de las corrientes transportarán de nuevo su flujo normal de agua. El control de los incendios y de las pasturas disminuirá el desbordamiento y aumentará el almacenamiento de agua del suelo, y habrá mayores cantidades de agua disponibles para el riego y usos industriales.

La buena utilización de la tierra traerá como consecuencia una propiedad raíz más estable, un nivel de vida más elevado y un incremento en las entradas. El aumento de las industrias en la vertiente hidráulica disminuirá la presión sobre la tierra, y a su vez la mejoría de las condiciones de la tierra y del agua hará más atractiva la vertiente hidráulica a nuevas industrias.

Los abundantes bosques madereros, protegidos contra los incendios y el pastado, significarán la estabilización de las industrias maderera y de pulpa. La mejoría en la cobertura de la tierra en los bosques disminuirá el desbordamiento, y se calcula que con un buen manejo las tierras forestales de la vertiente hidráulica del Yazoo, pueden producir 300 pies-tabla por acre al año, o sea un total de 600 millones de pies-tabla al año. Si se convierten en valores por árbol y en días de trabajo por hombre, no es difícil imaginar el impacto total que puedan ejercer en la economía local.

Las posibilidades que ofrecen las cuatro grandes presas en el campo recreativo son ilimitadas. Están situadas en el área de pesca del Mississippi, y los deportistas acudirán a la vertiente atraídos por la caza de patos y la pesca. El incremento de la población y la cercanía al área metropolitana de Memphis pueden significar el desarrollo de los campamentos de verano y del comercio relacionado con la pesca, la navegación en lanchas y el turismo.

Probablemente la mejor lección que suministra la vertiente del Yazoo no se limita a cómo puede aliviarse una área devastada reviviendo su economía local, sino cómo puede evitarse que otras vertientes hidráulicas lleguen a las mismas condiciones. El camino de retorno nunca es fácil.

WILLIAM L. HEARD *se graduó en la Universidad de Mississippi en 1928, habiéndose unido al Servicio de Conservación de Tierras en 1935 y estando encargado desde 1946 de la administración del Servicio en el Proyecto Yazoo-Little Tallahatchie.*

VÍCTOR B. MACNAUGHTON *se graduó en la Universidad de Maine en 1929, y ha trabajado en los Bosques Nacionales de Alabama y Mississippi desde 1934, siendo actualmente gerente de proyectos del Servicio Forestal en el Proyecto de Prevención de Inundaciones del Yazoo-Little Tallahatchie.*

Una nueva canción en el lodoso Chattahootchee

Frank A. Albert y Albert H. Spector

TODOS LOS REGISTROS de las cinco obras hidráulicas más grandes de Georgia cuentan la misma historia, una constante tendencia a la disminución en la turbieza o enlodamiento del agua que se bombea de los ríos para su tratamiento en las plantas de filtración.

¿Qué se ha hecho para obtener esta mejoría en las plantas de Atlanta, Augusta, Columbus, Macon y Milledgeville?

Esas plantas obtienen la mayor parte del agua de cuatro ríos que desaguan áreas de una gran variedad de tierras y características físicas.

Cinco factores afectan las cantidades de tierra que se mueven fuera de su sitio en una vertiente hidráulica: La forma en que se utiliza la tierra, la frecuencia e intensidad de las lluvias, la duración de la estación de crecimiento, el declive de la tierra y las cualidades de la misma. Sólo los dos primeros varían en forma suficiente en una vertiente hidráulica en el transcurso de los años para que produzcan cambios significativos.

Para obtener la respuesta debemos mirar hacia las colinas: Lo que se ha hecho

en ellas arriba de Atlanta es típico de los desarrollos efectuados en otras vertientes hidráulicas.

EL RÍO CHATTAHOOTCHE es la fuente principal de agua en la vertiente hidráulica de Atlanta. La válvula de admisión en donde se toman las lecturas de turbieza se encuentra inmediatamente abajo del medidor-registrador de corriente en Vinings, Georgia. Podemos asumir que tanto los datos obtenidos en esa válvula de admisión como en el medidor-registrador, reflejan las condiciones de toda la vertiente que da servicio a Atlanta.

El río Chattahootchee, arriba de Vinings, desagua 928,000 acres, de los cuales, aproximadamente, 608,000 se encuentran en el área fisiográfica de la Meseta Piedmont. En la válvula de admisión el agua no está considerablemente contaminada por aguas negras o desperdicios industriales corriente arriba, y es de excelente calidad química para usos municipales o industriales. Desgraciadamente, a menudo el río se enturbia excesivamente por la tierra deslavada de los terrenos de la vertiente hidráulica. Del estudio de las formas de utilización de la tierra en la cuenca de desagüe nos podemos explicar los orígenes de esta dificultad.

Aproximadamente el 75% del área total en las laderas de las colinas de la vertiente se compone de bosques, y un 46% de la tierra está destinada a granjas. La granja ordinaria tiene 76 acres, de los cuales el 62% se compone de tierras boscosas, el 7% de pasturas abiertas, el 18% de tierras de cosecha sembradas y el 13% de tierras ociosas o misceláneas. Se utiliza, aproximadamente, el 73% de las tierras de cosecha sembradas para cosechas de surco de cultivo limpio, y la lluvia anual promedia en el área de laderas de colinas es de 61 pulgadas.

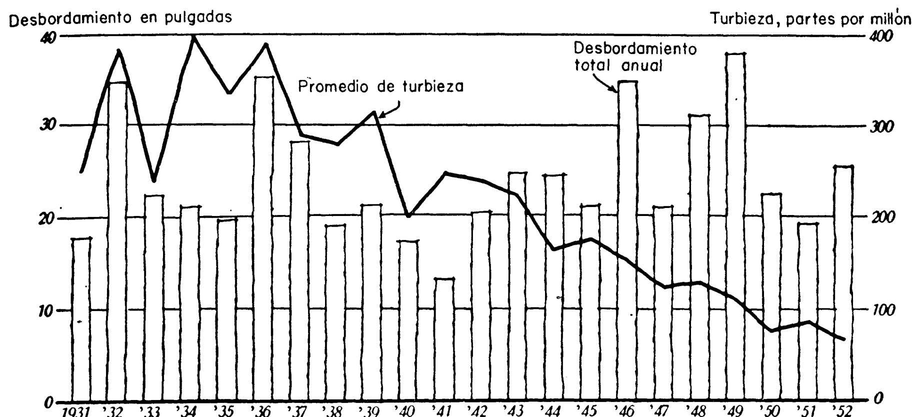
En el área ondulada y de colinas de la Meseta Piedmont, los bosques ocupan actualmente la mitad de la superficie de la tierra. Un poco más de las dos terceras partes del área de Piedmont se destina a granjas. La granja ordinaria tiene, aproximadamente, 90 acres, de los cuales el 38% consiste de tierras boscosas de granja, el 12% de pasturas abiertas, el 30% de tierras de cosecha, y el 20% se destina a tierras de labranza misceláneas u ociosas. Casi las tres cuartas partes de la tierra de cosecha se destinan a cosechas de surco, y la precipitación anual promedia en el área de la Meseta Piedmont es, aproximadamente, de 50 pulgadas.

Durante más de 25 años se han medido el flujo y turbieza del río Chattahootchee en las estaciones cercanas a Atlanta. Los registros muestran que el promedio anual de turbieza ha declinado constantemente desde un máximo de 400 partes por millón p. p. m., en 1934, a un mínimo de 69 p. p. m. en 1952. La descarga, expresada como desbordamiento en pulgadas, no indicó tendencia alguna, sino que pareció seguir el ciclo normal de sequías y lluvias excesivas con abundante desbordamiento.

Normalmente podría creerse que el agua del río sería más turbia cuando las tormentas son más numerosas. Esto generalmente es cierto si se comparan los registros de turbieza para el mismo mes o estación en aguas que no han quedado grandemente alteradas por medidas especiales de conservación. Los registros del medidor de Vinings muestran que los meses de diciembre a mayo tienen generalmente un número mayor de días durante los cuales la descarga excede de la que se considera crítica en el estudio. Sin embargo, ordinariamente ocurre la turbieza mayor en junio, julio y agosto, aunque el promedio de desbordamiento durante esos meses es bajo en comparación con los demás.

Es probable que las tormentas de verano produzcan abundantes lluvias de poco volumen, pero de alta intensidad y de extensión localizada. Generalmente el desbordamiento de esos aguaceros repentinos es excesivo y con frecuencia el agua que fluye sobre la tierra causa grandes cantidades de erosión, especialmente en tierras recientemente labradas.

El patrón de turbieza y la descarga del río Chattahootchee en verano son paralelos al patrón que se basa en los registros anuales. Se produjo una reducción considerable en el promedio de turbieza en verano mediante el mejoramiento de la conservación de la tierra, sin que



pudiera apreciarse una fluctuación anormal en el ciclo de tormentas, y el mes de agosto es típico de ese periodo.

Ordinariamente hubo una pérdida moderada de tierra durante el otoño e invierno del periodo de 25 años, y generalmente los registros mensuales de turbieza excesiva podían explicarse por ciertos disturbios poco comunes, tales como la construcción de puentes y trabajos en los canales. A menudo la tierra se congela en invierno y se vuelve muy resistente al desplazamiento. Además, las lluvias de invierno generalmente son más benignas que las de verano y, por lo tanto, menos capaces de desalojar la tierra de su sitio. Aunque las prácticas mejoradas de conservación tendrán menos oportunidad de causar una disminución considerable de la turbieza, durante la estación inactiva de cosechas, se puede apreciar una disminución bien definida de esa turbieza si se examinan los registros mensuales, siendo típicos los datos de la gráfica del mes de mayo.

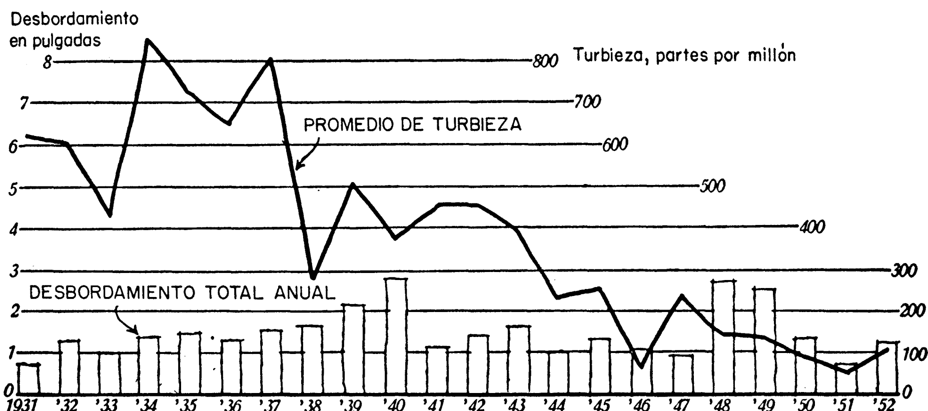
Veamos ahora lo que han logrado desde 1930 los programas de conservación para producir esa marcada mejoría en la calidad de las aguas del río Chattahootchee.

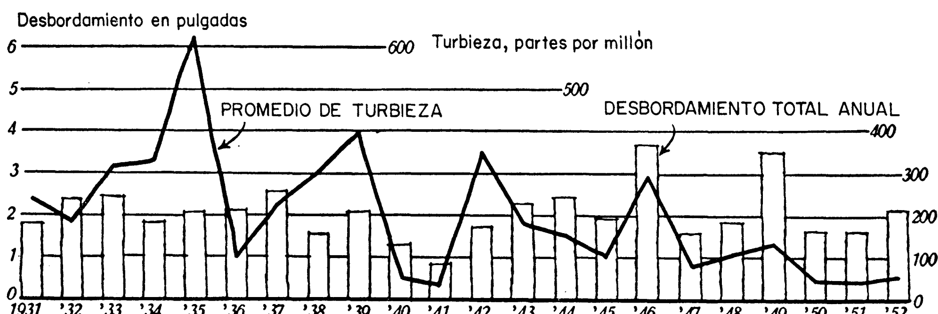
Se aumentó la superficie del Bosque Nacional de Chattahootchee en la vertiente hidráulica. Desde 1930 el Gobierno Federal ha adquirido casi 40,000 acres de tierras gravemente taladas y desforestadas. Esas tierras están debidamente protegidas contra incendios forestales y forman parte integrante de unidades de manejo de rendimiento constante. Entre 1925 y 1930 se adquirieron unos 40,000 acres, en los que se está haciendo notar el continuo efecto del manejo y protección adecuados.

Se mejoró la protección contra incendios en las tierras boscosas de propiedad privada. En 1930 no había protección organizada de ninguna clase contra los incendios en las tierras boscosas de propiedad particular en la vertiente, y en 1955 la organización contra incendios del estado protegió más de las tres cuartas partes de esas tierras en la cuenca de desagüe.

La estabilización de las áreas que son fuentes críticas de sedimento se ha convertido en práctica normal en las obras de construcción de caminos del Servicio Forestal. Se está dando también atención más adecuada a los caminos de aserradero y a las sendas de deslizamiento en aquellos lugares donde se vende madera, a fin de evitar el movimiento excesivo de la tierra. Los funcionarios de caminos del estado y de los condados están intensificando los programas para la estabilización de las orillas de los caminos en la vertiente hidráulica.

Se han plantado con árboles más de 50,000 acres de tierras ya agotadas de granja.





En 1935 se organizaron distritos de conservación de tierras, y desde entonces se han establecido, aproximadamente, 60,000 acres de pasturas mejoradas permanentes, se han construido 4,000 millas de terracerías y se han plantado 52,000 acres anuales con cosechas de cobertura. Se han puesto en práctica buenas medidas de rotación, aproximadamente, en 63,000 acres, y se están llevando a cabo con menos intensidad otras prácticas de conservación, tales como la labranza de contornos, construcción de estanques, siembra de kudzo, sericea y hierbas perennes y estabilización de riberas de las corrientes.

La superficie de las tierras de cosecha recolectadas disminuyó, aproximadamente, 40% entre 1930 y 1945. La mayor parte de la tierra que se retiró del cultivo se encontraba en declives escarpados dañados por la erosión, que normalmente son más adecuados para pasturas o bosques. Las prácticas de conservación han disminuido el problema de la turbieza en la vertiente hidráulica del río Chattahootchee, pero todavía hay lugar para mejoras adicionales, especialmente durante los periodos máximos. Tendrán que hacerse estudios detallados bajo condiciones diversas para precisar si hay que cambiar algunas de esas prácticas, a fin de enfrentarse a los problemas locales. Sin embargo, hay una serie de recomendaciones básicas que pueden utilizarse en los planes de manejo de cualquier vertiente:

Alentar los planes de manejo a largo plazo en las tierras más críticas de las vertientes hidráulicas. Como con frecuencia esas tierras no producen entradas de ninguna clase para sus propietarios durante

Tabla 1.—Promedio de turbieza del agua del río en cinco plantas hidráulicas de Georgia.

Año de Registro	Atlanta [1] (Río Chattahootchee)	Columbus [2] (Río Chattahootchee)	Macon [2] (Río Ocmulgee)	Hospital [2] Estatal en Milledgeville. (Río Oconee)	Augusta [2] (Río Savannah)
	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.	p. p. m.
1931	258	....	....	....	....
1932	386	....	....	....	....
1933	240	....	....	....	....
1934	400	....	....	....	....
1935	335	....	216	....	....
1936	390	....	224	....	....
1937	290	....	161	....	....
1938	280	....	148	....	....
1939	315	....	163	417	....
1940	200	....	131	212	90
1941	250	....	133	125	59
1942	240	....	147	168	107
1943	225	....	110	142	104
1944	163	....	83	109	78
1945	178	85	105	121	95
1946	153	59	79	99	65
1947	124	42	79	108	67
1948	130	48	67	96	57
1949	111	31	58	78	43
1950	76	29	45	62	44
1951	88	35	45	86	58
1952	69	33	63	45	41
1953	76	36	51	44	26

[1] Origen, Obras Hidráulicas de Atlanta.
[2] Origen, Servicio de Conservación de Tierras.

Tabla 2.—Registro de tormentas del río Chattahootchee, arriba de Vinings, Georgia. (Vertiente hidráulica de Atlanta.) Indicando la turbieza, desbordamiento y descarga de las Tormentas.

(Registros continuos desde enero de 1931 hasta septiembre de 1953.)

Mes	Promedio de turbieza p. p. m.	Promedio de desbordamiento (Pulgadas)	Número de días en que el promedio de descarga de la corriente excedió de: 2,500 pies por segundo	10,000 pies por segundo
Enero	153	2.94	14.5	1.6
Febrero	172	2.81	16.6	1.4
Marzo	183	3.25	21.7	1.7
Abril	196	2.86	20.2	.8
Mayo	192	2.10	13.2	.0
Junio	336	1.60	5.7	.1
Julio	453	1.64	5.4	.5
Agosto	368	1.46	4.6	.3
Septiembre	199	1.09	2.2	.2
Octubre	112	1.15	2.3	.3
Noviembre	87	1.32	3.0	.4
Diciembre	120	2.24	7.9	1.2

largos periodos de tiempo, los beneficios tienen que demorarse necesariamente. Los propietarios deben saber lo que se necesita para rehabilitar las tierras gravemente agotados de este tipo.

Intensificar los esfuerzos para mejorar las operaciones madereras y otras prácticas en tierras forestales.

Suministrar protección estatal contra incendios en todas las tierras boscosas de propiedad privada en las vertientes.

Extender los servicios de manejo a todos los propietarios de tierras boscosas para conseguir el doble propósito de desarrollar mayores valores forestales que los propietarios convertirán en utilidades y que como tales constituirán un incentivo para aplicar prácticas forestales mejoradas, y mejorar el suelo de los bosques y el dosel de cobertura que protegerá las tierras forestales.

Plantar árboles en aquellas tierras que no sean adecuadas para cultivos o pastos. Esas tierras, que generalmente están ago-

tadas y que carecen de una cobertura adecuada, son fuentes primordiales de sedimento. Los árboles devolverán la tierra a su producción comercial, y producirán un suelo boscoso que contribuirá grandemente a impedir el movimiento de la tierra.

Intensificar los programas de labranza para obtener la máxima participación en la aplicación de prácticas, tales como el mejoramiento de pasturas y siembras, labranza de contornos, cosechas de cobertura, siembra de hierbas permanentes, construcción de estanques en las granjas, terracerías y rotación de cultivos.

Intensificar los trabajos de estabilización de las orillas de los caminos estatales y de los condados, y hacer que los madereros adopten prácticas que disminuyan la cantidad de tierra deslavada en los canales hidráulicos. Las prácticas tales como la siembra de hierbas en caminos madereros abandonados, la debida localización de esos caminos y la construcción de suficientes retenes de agua, ayudará a disminuir la turbieza de los arroyos.

La turbieza de un arroyo indica que la lluvia, en vez de penetrar al subsuelo, pasa sobre la superficie y arrastra la tierra con ella. Nunca hemos estado más interesados que ahora en obtener rendimientos elevados de aguas utilizables para usos domésticos e industriales. Los usuarios corriente abajo deben de tener la mejor clase de agua que puedan producir las vertientes hidráulicas, y su buena conservación es una forma de obtenerla.

FRANK A. ALBERT *se unió al Servicio Forestal después de graduarse en el Colegio del Estado de Pennsylvania en 1926, habiendo prestado sus servicios en los bosques nacionales de New Hampshire, Virginia, West Virginia, Florida, North Carolina y Mississippi. Actualmente está a cargo de la División de Silvicultura Estatal y Privada del mismo Servicio.*

ALBERT H. SPECTOR *se graduó en la Universidad del Estado de Pennsylvania en 1940 y se unió al Servicio Forestal en 1946, habiéndosele asignado a la División de Inspecciones para el Control de Inundaciones en 1948, formando parte actualmente de la División de Silvicultura Estatal y Privada.*

La historia de la vertiente hidráulica de Sandstone Creek

Harold M. Kautz

COMO TODO MUNDO AYUDÓ, la vertiente hidráulica de Sandstone Creek, en el oeste de Oklahoma, no es ya el problema que fue.

La junta de supervisores del Distrito de Conservación de Tierras del Alto Washita tomó parte activa en la formación y en los asuntos de la Asociación para el Control de Inundaciones del Valle de Washita. La Ley de Control de Inundaciones de 1944, que autorizó las obras de mejoramiento para retardar el desbordamiento y evitar la erosión en las vertientes que se encuentran corriente arriba de la vertiente hidráulica del río Washita, les dio incentivos adicionales.

Cuando el Congreso concedió los fondos necesarios para la planeación de las obras de prevención de inundaciones corriente arriba en 1946, los supervisores de distrito habían escogido la vertiente en la que deseaban esa ayuda.

La vertiente escogida por los agricultores y por ellos fue la de Sandstone Creek, que se encuentra dentro de una área en cuyos linderos están los poblados de Sayre, Elk City, Hammon y Cheyenne, Oklahoma. El arroyo fluye hacia el Nordeste por 15 millas y desagua en el río Washita, aproximadamente 8 millas al sudoeste de Hammon.

Toda la vertiente hidráulica de Sandstone Creek se encuentra en la planicie de Rolling Red. La naturaleza superficial y la escarpada topografía del 85% de las tierras altas, sólo las hace adecuadas para praderas. El 15% restante de esas tierras altas se cultiva principalmente en pequeñas unidades de granjas. La economía de la vertiente es agrícola, y el ganado constituye la principal fuente de entradas de los terratenientes.

La propiedad de los 4,700 acres de tierras bajas de la vertiente está estrechamente relacionada con la de las tierras de granja que rodean al valle. En consecuencia, un poco más del 90% de las tierras bajas cultivadas se dedica a cosechas que

sostienen la producción de ganado, granos pequeños, sorgos de grano y alfalfa.

Sandstone Creek se localiza en la faja de 25 pulgadas de lluvia y tiene periodos de sequía, así como de intensas tormentas. Durante la sequía la cobertura de la vertiente tiende a agotarse, a menos que se conserven cuidadosamente las praderas. Las condiciones de escasa cobertura causan un mayor desbordamiento de la vertiente y un incremento en las inundaciones de las tierras bajas. Las pérdidas de cosechas suplementarias de forrajes causada por las inundaciones, producen a menudo un exceso de pastos en las tierras altas, repitiéndose ese ciclo de acontecimientos.

Estas eran las condiciones que existían cuando se pidió al Servicio de Conservación de Tierras que ayudara a los habitantes de la localidad a solucionar el problema.

Como base para determinar el tipo de estructuras y prácticas que eran necesarias, se estudiaron los problemas de las inundaciones y de los daños que causaban, a fin de obtener una seguridad normal en las operaciones de labranza.

Se escogió el periodo de 20 años comprendido entre 1920 y 1939 como representativo de las lluvias normales en esa área. Durante ese periodo, 184 tormentas causaron inundaciones y 59 de ellas produjeron daños. En algunos casos esas tormentas ocurrieron tan cerca una de otra que no permitieron reparar o recuperarse de los daños causados por la primera de ellas. En ocasiones ocurrieron varias tormentas durante la recolección, habiéndose evaluado sólo la mayor de ellas en esa estación. En los 20 años antes mencionados ocurrieron numerosas inundaciones, así como la gran sequía de principios de la década de 1930.

Los daños causados por los sedimentos eran muy graves. La utilización y manejo indebidos de la tierra habían aumentado el desbordamiento superficial y habían hecho que los canales principales se ahondaran en las fuentes originarias y que se produjeran numerosas hondonadas. La mayoría de esas hondonadas tenían de 6 a 20 pies de profundidad y de 10 a 50 pies de ancho en su parte superior. La tierra de los lados generalmente no era suficiente para sostener una vegetación bastante densa para controlar la erosión de las riberas.

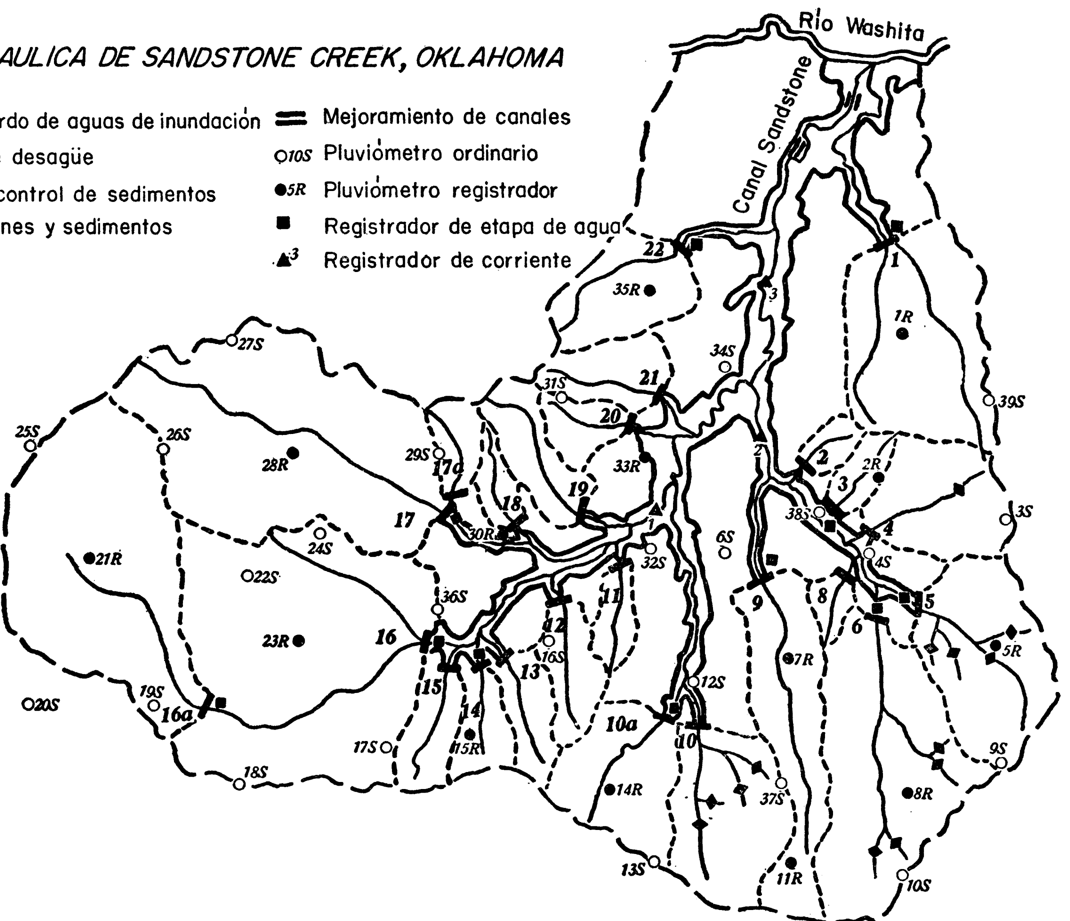
Ocurrieron depósitos de sedimento de las riberas en 4,115 acres de los 4,700 acres de llanuras de inundación. Aproximadamente 3,700 acres quedaron cubiertos a profundidades de 1 a 8 pies. A medida que aumentó la pérdida de la capa superficial por la erosión, los materiales depositados fueron más arenosos y menos fértiles, lo que dio por resultado el aumento de los costos de producción de las cosechas y la declinación de la productividad de las tierras del valle. No todo el sedimento se depositó en las tierras del valle, ya que una parte quedó en los canales de los arroyos. Esto sucedió principalmente en el arroyo Currant, uno de los principales tributarios occidentales de Sandstone Creek, y en la parte inferior de la rama principal de este último. Dos terceras partes del largo total del canal del arroyo Currant se llenaron de arena, y la parte baja del canal de Sandstone Creek se llenó hasta una proporción anual de 4 a 8 pulgadas. La capacidad disminuida de los canales causó inundaciones más frecuentes y aumentó el depósito de sedimentos en las tierras bajas.

Se obtuvieron informaciones de más de las tres cuartas partes de los terratenientes u operadores en el área de la llanura de inundación para determinar la extensión de los daños causados por éstas a las cosechas, a la tierra y a otras propiedades agrícolas de que tuvieran memoria, y se obtuvo también información sobre la utilización de la tierra, superficies de las diversas cosechas cultivadas y valor de las tierras de la llanura de inundación, y los comisionados de los condados suministraron los datos relativos a daños causados a los caminos y puentes.

Toda esta información básica se usó para determinar el daño causado por las inundaciones y sedimentos. El promedio de daños anuales en dólares fue el siguiente: Daños a cosechas y pasturas, 40,100; destrucción de la llanura de inundación, 400; destrucción de las riberas de las corrientes, 2,200; otros daños agríco-

VERTIENTE HIDRAULICA DE SANDSTONE CREEK, OKLAHOMA

- Estructura de retardo de aguas de inundación
- Límite del área de desagüe
- Estructura para control de sedimentos
- Agua de inundaciones y sedimentos
- Area dañada
- Mejoramiento de canales
- o10S Pluviómetro ordinario
- ●5R Pluviómetro registrador
- ■ Registrador de etapa de agua
- ▲3 Registrador de corriente



Sitio Nº	Area de desagüe
1	3,411
2	334
3	399
4	1,775
5	2,492
6	4,133
8	292
9	2,243
10	2,261
10a	1,837
11	449
12	862
13	691
14	652
15	758
16	7,338
16a	5,618
17	6,483
17a	534
18	390
19	990
20	589
21	922
22	1,442

las, tales como pérdida de ganado, vallados y equipo, 3,900; daños a caminos y puentes, 1,000; depósito de sedimentos en tierras del valle, 5,700, y daños indirectos, 5,300.

LOS SUPERVISORES del distrito de conservación de tierras, los terratenientes, las organizaciones interesadas y las agencias gubernamentales, desarrollaron un plan destinado a disminuir los daños causados por la erosión y las aguas de las inundaciones en la vertiente hidráulica. El plan exigía un tratamiento para la conservación de las tierras de granjas como medio de protegerlas contra las pérdidas excesivas de tierra y contra el desbordamiento. El plan incluía también medidas tales como la construcción de presas de retención para retardar las aguas de las inundaciones, presas para el control de sedimentos y mejoramiento de los canales.

Las necesidades totales de la vertiente incluían más de 400 millas de terracerías y 50 acres de vías de agua cubiertas de vegetación en las granjas para ayudar a controlar la erosión en 6,200 acres de tierras cultivadas; la siembra de 5,800 acres de tierras ociosas o gravemente dañadas por la erosión con hierbas nativas; la construcción de 125 estanques de granjas para promover la distribución adecuada del pastado en las praderas y tierras de pastos; rotaciones mejoradas de cosechas en 6,200 acres de tierras de cosecha, y un manejo mejorado de las tierras de pradera y pasturas en 58,800 acres. Las medidas suplementarias incluían 24 estructuras para retardar las aguas de las inundaciones, 13 presas de control de sedimentos y una milla de obras de mejoramiento de canales.

El tamaño de la vertiente hidráulica en relación con la capacidad de transportación de su canal es tal que basta un cuarto de pulgada de desbordamiento en la vertiente para producir una inundación. Una instalación completa de las medidas de conservación de tierra, por lo tanto, no evitaría el desbordamiento del flujo.

Se planearon las 24 estructuras para retardar las aguas de las inundaciones, con el fin de controlar el desbordamiento del 70% del total de la vertiente y proteger el 95% de la llanura de inundación. El agua retenida por las estructuras, localizadas cerca del extremo superior del área de la llanura de inundación, inundaría permanentemente sólo 139 acres de tierras bajas, y otros 63 acres de esas mismas tierras quedarían cubiertos temporalmente por las aguas de inundación almacenadas.

Una estructura típica de retardo de las aguas en esta localidad tiene un promedio de área de desagüe de 5 ó 6 millas cuadradas. El estanque de retención de las aguas de inundación está diseñado para retener, por lo menos, el máximo desbordamiento que pueda ocurrir en 25 años. Las aguas de inundación almacenadas temporalmente en la presa se liberan lentamente por medio de un tubo inferior de descarga sin válvula. Como resultado de todo ello, el agua corre por el canal sin desbordarse en las tierras bajas inferiores. La parte inferior del depósito de almacenamiento está reservada para los sedimentos, y el espacio destinado a ellos es suficiente para asegurar el funcionamiento de la estructura a su eficiencia máxima por lo menos durante 50 años. La presa está dotada de un vertedero cubierto de vegetación, capaz de manejar el desbordamiento producido por una tormenta de 100 años de frecuencia que pueda ocurrir cuando el depósito de retención esté lleno. Ese diseño produce una estructura económica que es capaz de soportar tormentas extremadamente fuertes, y su economía radica en su sencillez y la amplitud de su diseño. No se ha intentado almacenar el desbordamiento de las tormentas más fuertes, porque aproximadamente el 95% del total de los daños causados por las inundaciones en una vertiente de este tipo se deben a las tormentas más ligeras que ocurren con una frecuencia mayor de una vez en 25 años.

En las hondonadas más grandes y activas que no podían ser reparadas por la sola vegetación, se planearon 13 presas de estabilización de declive o de control de sedimentos del tipo de admisión de caída. Estas estructuras se justifican por el total de almacenamiento de sedimentos requerido, tanto por las presas de control de sedimento como por las de retención para disminuir los daños causa-

dos por los sedimentos en las tierras de la llanura de inundación.

Se planearon también ciertas obras de mejoramiento en una milla del canal en la parte inferior de su rama principal para contrarrestar las condiciones de inundación producidas por los depósitos de sedimento en el canal.

UNA EVALUACIÓN de los efectos del programa puso al descubierto que una tormenta de frecuencia de 25 años inundaría 3,600 acres de tierras bajas bajo las condiciones existentes. Si esa tormenta ocurriera después de que se instalaran las medidas necesarias de conservación y se construyeran las presas propuetas, sólo se inundarían 340 acres. Al llevar a cabo el programa sólo se inundarían 2,190 acres por todas las tormentas semejantes a las que ocurrieron durante el periodo de 20 años de lluvias que se investigó, habiendo un promedio anual de inundaciones ligeramente menor de 110 acres. El promedio anual de daños debidos a las aguas de inundación y a los sedimentos sería de 1,240 dólares, lo que representa un promedio de reducción de 57,360 dólares anuales.

Los beneficios no terminan con la disminución de los daños causados por las inundaciones. Los propietarios manifestaron que si obtuvieran la protección contra las inundaciones que les es necesaria, harían mayor uso de las llanuras de inundación. Se utilizarían las tierras que producen escasos rendimientos de los granos pequeños o pasturas para cultivar cosechas de mayor valor, tales como alfalfa. Los beneficios netos anuales derivados de este uso más intenso de la tierra se calcularon en 11,000 dólares.

Los terratenientes en el área de tierras altas recibirán el mayor beneficio, debido a la protección, uso y manejo adecuado de sus tieras. Se calculó que sus entradas netas combinadas se aumentarían en 88,000 dólares anuales mediante la aplicación de buenas medidas de conservación.

Se calcularon los beneficios totales derivados del programa recomendado para Sandstone Creek, aproximadamente, en 3 dólares por cada dólar de costo.

LOS AGRICULTORES y los rancheros cooperaron abiertamente en el programa. Para cuando se completó y aprobó el programa de la vertiente por los habitantes de la localidad, se habían preparado ya los planes para la conservación de tierras y aguas en el 87% de la vertiente por medio de acuerdos cooperativos entre los terratenientes y los distritos de conservación de tierras.

A fines de 1948, cuando se había aplicado a las tierras un 60% de las prácticas y medidas para su tratamiento, los supervisores de los distritos de conservación de tierras y otros se impusieron la tarea de obtener facilidades y permisos para las estructuras propuestas. Todas ellas, con excepción de una sola, se concedieron gratuitamente a los distritos de conservación de tierras del Alto Washita y de la rama norte del río Rojo, y el costo de la que no se obtuvo, así como el de la relocalización de un pozo, fueron erogados por el Distrito del Alto Washita. Se llegó también a un acuerdo con los Comisionados del Condado en el Juzgado del Condado de Beckham, por medio del cual se construiría una de las presas de control de sedimentos que estaba localizada en un camino del Condado. El valor de las facilidades necesarias, remoción de obstáculos y ayuda para la construcción suministrado por los intereses locales, se calculó en 60,000 dólares.

Los distritos de conservación de tierras asumieron la responsabilidad de conservar las estructuras para el manejo de las aguas, y a su vez patrocinaron la organización de la Asociación para el Mantenimiento de la Vertiente Hidráulica de Sandstone Creek. De nuevo se demostró interés considerable cuando se unieron a la Asociación muchos de los propietarios de las tierras altas, así como los terratenientes beneficiados de la llanura de inundación.

SANDSTONE CREEK se convirtió así en una de las primeras vertientes hidráulicas de la nación que quedara lista para la instalación de un programa completo de prevención de inundaciones.

El Servicio de Conservación de Tierras y la Inspección Geológica desarrollaron un programa cooperativo de evaluación para determinar los efectos del tratamiento de la tierra y de las estructuras en las

relaciones de las lluvias con el desbordamiento, la recuperación del agua de la tierra, el flujo de las corrientes y la producción de sedimentos, para obtener información que sería de gran importancia para todos los grupos interesados en la conservación, utilización y manejo de las aguas.

Se instalaron 14 medidores-registradores y 25 ordinarios en las 100 millas cuadradas de la vertiente. Se localizaron registradores de etapas de agua en 11 de las 24 estructuras de retardo del flujo de las aguas y se establecieron zonas de sedimentación para usarse en lo futuro para medir los depósitos de sedimento en las áreas de los estanques. Se seleccionaron las 11 estructuras para proporcionar una zona con la misma forma y tamaño del área de desagüe, patrón de utilización de las tierras, tipos de tierras y condiciones de la cobertura, y se hicieron arreglos para inventariar anualmente las condiciones del área de desagüe, a fin de tener una base para la evaluación de los efectos de la utilización de la tierra y de su conservación en la producción de sedimentos y en el desbordamiento dentro de las estructuras.

Se localizaron tres estaciones automáticas de medición de corriente en los tributarios principales y en la rama principal de Sandstone Creek, para medir los flujos mensuales y anuales de la corriente, descargas máximas producidas por las tormentas y flujo de retorno a la corriente del agua que se había infiltrado a la tierra. Además, se escogieron cuatro pozos para observar los cambios en los niveles de agua del suelo.

El primer contrato de construcción se celebró en junio de 1950, amparando las estructuras de los sitios 5 y 9. Se siguió una política de concesión de contratos en pequeños grupos durante todo el periodo de construcción para permitir que concursaran los pequeños contratistas. El agrupamiento de las estructuras hizo posible que unos cuantos hombres supervisaran su construcción.

La construcción de las presas se terminó en noviembre de 1952, y sólo quedaron por hacer las mejoras propuestas en la milla en la parte inferior de la rama principal en donde los depósitos de sedimentos habían disminuido gradualmente la capacidad del canal. Sin embargo, como las estructuras y las medidas de conservación de la vertiente producirían flujos prolongados y disminuirían la carga de sedimento en la corriente, se decidió demorar el mejoramiento del canal por unos cuantos años para dar oportunidad a la naturaleza de rectificar las condiciones existentes sin costo adicional alguno.

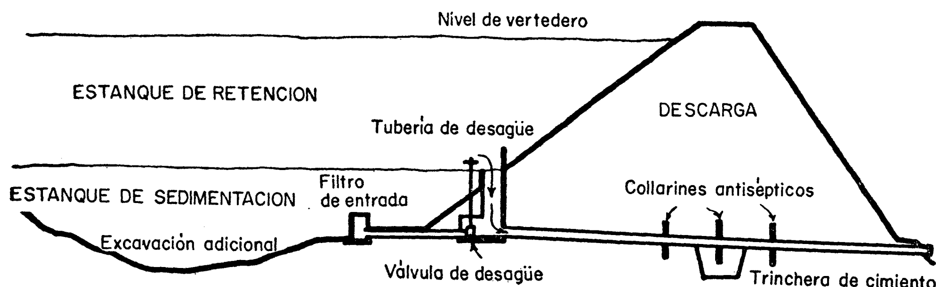
La evaluación del programa de la vertiente ha sido demorada por una sequía que se inició durante la instalación de las estructuras y estaciones de medición. Las lluvias en 1952 sólo llegaron a 13.32 pulgadas, y en 1935 fueron de 20.10 pulgadas; pero gran parte de ellas cayeron en forma de aguaceros ligeros completamente ineficaces. Sólo ocurrieron tormentas de capacidad de 2 pulgadas en tres ocasiones durante el año, y hubo 322 días sin lluvia.

Las primeras tormentas importantes ocurrieron el 25, 27 y 29 de abril de 1954. La primera fue relativamente ligera y ocurrió entre las 10:00 y las 11:00 p. m., variando la precipitación de 0.55 a 1.11 pulgadas en toda la vertiente. La mayor intensidad tuvo una proporción de 3.60 pulgadas por hora. A principios de la noche del 27 de abril se registró una corta e intensa tormenta, variando la lluvia de 0.10 a 2.11 pulgadas, y cayendo la mayor parte en 20 minutos.

La mayor y más intensa de las tormentas ocurrió entre las 10:00 p. m. y la media noche del 29 de abril. Sólo cayeron rastros de lluvia en la parte sudeste de la vertiente; pero el medidor 35R en la parte noroeste registró 3.71 pulgadas, y se registró la mayor intensidad durante un periodo de 5 minutos, con una equivalencia de 6.6 pulgadas por hora en el medidor 30R. Por lo tanto, la parte más fuerte de la tormenta cayó a través de las áreas de desagüe de las estructuras de retraso de flujo núms. 18 y 22 y en la parte baja de la vertiente, en donde no se habían construido estructuras porque no había sitios disponibles.

La intensidad máxima durante una hora fue de 3.2 pulgadas por hora, y se

SECCION DE UNA ESTRUCTURA TIPICA DE RETARDO DE AGUAS DE INUNDACION



registró cerca de la estructura núm. 18. La lluvia que cayó en el área de desagüe de la estructura núm. 22 fue de 3.69 pulgadas en dos horas. Esas intensidades de lluvias pueden ocurrir en la zona una vez en 50 y 25 años, respectivamente, y varias veces se ha excedido la cantidad de precipitación en esta vertiente; pero la intensidad de las lluvias, las condiciones de ineficacia de la cobertura de vegetación debido a la sequía prolongada y las lluvias del 25 y 27 de abril se combinaron para producir un desbordamiento excesivo con la tormenta del 29 de abril. El desbordamiento combinado en la vertiente llegó a 1.39 pulgadas, ó 63% de las lluvias.

Las estructuras de retardo de las aguas de inundación manejaron sin dificultad ese desbordamiento. La etapa mayor registrada en cualquier estructura ocurrió en el sitio núm. 1, en donde el nivel máximo de agua subió a 11.8 pies abajo de la orilla del vertedero. La eficacia de las estructuras de retardo del agua de las inundaciones para disminuir ese aumento en los flujos quedó demostrada con el hecho de que las estructuras que se encuentran arriba del medidor de corriente núm. 1, sólo liberaron 200 pies por acre de flujo durante el periodo de desbordamiento superficial, de las 38.7 millas cuadradas del área controlada de desagüe. En contraste, las 6.3 millas cuadradas de área de desagüe no controlada arriba del medidor de corriente núm. 1, produjeron 720 pies de desbordamiento por acre durante el mismo periodo.

El tratamiento coordinado de la tierra y las medidas estructurales evitaron toda inundación durante las tormentas del 25 y 27 de abril. El desbordamiento de la tormenta del 27 causó el hundimiento de un puente que ya estaba condenado, a través de la rama principal de Sandstone Creek, en la parte central de la vertiente. La destrucción se debió a la erosión de los lados, debida a un flujo menor de la capacidad del canal.

La tormenta del 29 de abril inundó 588 acres de llanura de inundación. La mayor parte de ella ocurrió en la zona inferior de la rama principal, para la que se habían planeado obras de mejoramiento que no se habían construido todavía. Se depositó sedimento en 330 acres de tierras bajas y otros 24 acres adicionales sufrieron daños moderados por el frotamiento. Los daños causados por la sedimentación fueron ligeros, ya que los depósitos tuvieron generalmente una profundidad menor de 6 pulgadas.

Si esas tormentas hubieran ocurrido antes de la instalación de las medidas de tratamiento de la tierra y de la construcción de las estructuras para el retardo de las aguas de inundación, se habrían inundado, aproximadamente, 2,160 acres, de los 4,700 acres de la llanura de inundación; habrían podido ocurrir daños por los sedimentos en 1,880 acres, y se habrían dañado, aproximadamente, 130 acres de tierras bajas por la canalización debida al rozamiento.

En las tierras altas los daños fueron generalmente ligeros o moderados, y sólo fueron serios en pequeñas áreas. Los daños causados por los sedimentos en las terracerías de los canales fueron ligeros, y la erosión fue leve en donde la tierra tenía cosechas de granos pequeños u otras cosechas protectoras. Se había preparado cierta parte de la tierra cultivada para

sembrar algodón o sorgo, pero no se habían hecho las siembras. En algunos casos se obstruyeron con sedimento los canales de terracerías en esta parte de la tierra y ocurrió cierta erosión en donde se rebasaron esas terracerías.

La mayor parte de las tierras de pradera y tierras retiradas de cosecha, consisten de tierras superficiales o extremadamente superficiales en declives que varían de ondulados a escarpados. El desbordamiento fue relativamente alto, pero las pérdidas de la erosión fueron ligeras. Como casi todos los estanques de almacenamiento se han construido en ese tipo de tierra, los daños causados en ellos por el sedimento no fueron excesivos y sólo se dañaron 2 de los 120 estanques.

El total de daños en las tierras altas de esta vertiente hidráulica de 100 millas cuadradas, se calculó en 6,150 dólares, debiéndose la mayor parte a las necesidades extras de conservación y a la reparación de terracerías que no habían sido diseñadas para soportar tormentas de esa magnitud.

Las medidas de protección de la vertiente hidráulica y de prevención de inundaciones disminuyeron los daños debidos a las tormentas de abril en la llanura de inundación, de 25,850 dólares a sólo 5,770 dólares. Esto significó una disminución del 78% en los daños y un ahorro para los terratenientes de un poco más de 20,000 dólares, obteniéndose algo más de la mitad de ese ahorro mediante la prevención de daños a las cosechas y pasturas.

Ocurrió una tormenta más violenta aproximadamente un mes más tarde. La lluvia comenzó a caer alrededor de las 6:00 p. m. del 23 de mayo, y para la media noche el pluviómetro 23R había registrado 6.0 pulgadas de precipitación, cayendo lentamente 1.7 pulgadas adicionales el 24 de mayo, con un periodo sin lluvia entre las 4:00 a. m. y las 10:00 a. m. La tormenta se centralizó sobre las estructuras núms. 16 y 17 en la parte oeste de la vertiente, en donde se apreció un máximo de 7.17 pulgadas. La lluvia que cayó a lo largo de la orilla occidental de la vertiente varió de 4.0 a 4.6 pulgadas, y la precipitación fue relativamente abundante sobre todo el área de desagüe.

El pluviómetro 23R registró 0.58 de pulgada en un periodo de 5 minutos, proporción que equivale, aproximadamente, a 7 pulgadas por hora. Registró también 5.10 pulgadas en 2 horas. (La lluvia máxima que se espera en un periodo de 2 horas, una vez en 100 años, es aproximadamente de 4.9.)

El promedio de lluvias sobre la vertiente fue de 4.37 pulgadas, y sólo 1.35 pulgadas o 31% apareció en forma de desbordamiento. El desbordamiento producido por la tormenta fue ligeramente menor que el de la del 29 de abril, porque la porción más fuerte de la tormenta de mayo cayó en una área de tierras arenosas y permeables.

Aunque la tormenta del 23 al 24 de mayo fue considerablemente mayor en cantidad total e intensidad que la del 29 de abril, el daño causado por las inundaciones fue menos extenso, debido principalmente a que el desbordamiento de la porción más fuerte de la tormenta de mayo quedó controlado por las estructuras de retardo del agua de inundaciones núms. 16, 16-A y 17. La etapa mayor ocurrida en cualquiera de las estructuras se registró en la núm. 16, en donde el nivel máximo de agua en el estanque de retención fue de 7 pies abajo de la cresta del vertedero.

El desbordamiento de la tormenta de mayo causó la inundación sólo de 200 acres de tierras bajas, todas ellas en la parte inferior de la rama principal en la que se había planeado el mejoramiento del canal, y en todo el resto la corriente permaneció dentro de sus riberas.

Las áreas dañadas por el sedimento y el frotamiento habían sido dañadas también por las tormentas previas, pero los daños adicionales fueron menores. Se depositó el sedimento en una capa relativamente delgada sobre una extensión de 45 acres. No se produjeron nuevos canales de rozamiento, pero los causados por las tormentas de abril se ahondaron de 3 a 6 pulgadas, aproximadamente, en 18 acres.

Además del daño a las tierras altas causado por las primeras tormentas, se dañaron 50 millas de terracerías, necesitando

ligeros trabajos de conservación y 100 millas de ellas necesitaron reparaciones más extensas. Se produjeron erosiones bastante serias y daños de frotamiento aproximadamente en 250 acres de tierras de cosechas en los que no se había sembrado una cubierta protectora. Se calculó que los daños causados a los estanques de almacenamiento por los sedimentos equivalían al 50% de los daños esperados anualmente. Se calcularon los daños totales a las tierras altas en 2,300 dólares, siendo esta cifra menor que la de la tormenta del 29 de abril, porque las roturas de terracerías y otros daños causados por ella no se habían reparado cuando ocurrió la tormenta del 23 al 24 de mayo.

Los daños en las llanuras de inundación habrían sido considerables si no se hubieran instalado las medidas protectoras en la vertiente hidráulica. Los itinerarios de la inundación causada por el desbordamiento de la tormenta, asumiendo que siguieran las condiciones anteriores al tratamiento, indicaron que se habrían inundado 2,110 acres, que 1,880 acres habrían resultado dañados por los sedimentos y que las canalizaciones de frotamiento habrían dañado otros 210 acres, aproximadamente.

Las pérdidas monetarias causadas por las aguas de las inundaciones y los sedimentos habrían llegado a 22.275 dólares, cifra que toma en cuenta los daños que habrían ocurrido como resultado de la tormenta de abril y que no habrían podido repararse o recuperarse antes de la tormenta de mayo. Los daños reales sólo fueron de 1,100 dólares y, por lo tanto, hubo un ahorro de 21,175 dólares para los habitantes.

Las metas establecidas por los residentes, indicadas por su aceptación y aprobación del plan de trabajos de la vertiente hidráulica, consistían en la instalación de todas las medidas de conservación necesarias en las tierras de la vertiente y en la conservación de las mismas; la prevención del 90% de los daños causados por las inundaciones, tales como las que habían estado ocurriendo en las tierras bajas a lo largo del arroyo, y la intensificación de la utilización de las tierras de la llanura de inundación protegida, a fin de permitir la utilización y manejo adecuado de las tierras altas.

Los agricultores y rancheros habían terminado el 85% de los trabajos de conservación de la vertiente cuando ocurrieron las tormentas de abril y mayo. Aunque el prolongado periodo de sequía hizo que algunas de las medidas de conservación funcionaran con una eficiencia mucho menor del 100%, su eficacia para proteger la tierra durante las fuertes tormentas demostró ampliamente la importancia de las medidas de tratamiento de la tierra para proteger las inversiones y entradas de los terratenientes. Por lo tanto, se espera un aumento considerable en la proporción de aplicación de medidas de conservación, con el consiguiente retorno de condiciones casi normales de lluvia, hasta que todo el trabajo se termine.

La conservación coordinada y las medidas estructurales ahorraron 41,255 dólares de los 48,125 dólares de daños causados por las inundaciones que habrían ocurrido como consecuencia de las tormentas de abril y mayo, si no se hubieran instalado las medidas preventivas, o sea una reducción de 86%. Si se considera que el programa proporcionará el 100% de protección de la llanura de inundación contra la mayor parte de las tormentas pequeñas, es indudable que se alcanzará la meta del 90% de protección.

Durante la época en que se estaba llevando a cabo el plan de trabajos, los terratenientes manifestaron que si se les daba la protección necesaria contra las inundaciones, intensificarían en 5 años su utilización de las tierras de la llanura de inundación, cultivando una proporción mayor de cosechas de gran valor, que aumentarían sus entradas netas y proporcionarían pasturas para el ganado, prácticas que les permitirían utilizar en forma adecuada sus tierras altas. Por ejemplo, disminuirían la superficie sembrada con granos pequeños de 1,830 a 1,360 acres; aumentarían la superficie sembrada con alfalfa de 570 a 1,270 acres; aumentarían la superficie sembrada de algodón de 225 a 270 acres, y disminuirían los pastos de 1,380 a 1,270 acres. Para junio de 1954, o sea menos de dos años después de que se instalaron las

estructuras, se habían llevado a cabo más de la mitad de los cambios indicados.

HAROLD M. KAUTZ *es especialista en planeamiento de vertientes hidráulicas del Servicio de Conservación de Tierras en Forth Wort, Texas, habiendo obtenido su título de ingeniero civil en el Colegio del Estado de Iowa.*

Cantidades de agua disponibles para usarse en las principales áreas de desagüe, octubre 25, 1954

Total de aguas superficiales y del suelo.

Areas principales de desagüe		*Promedio anual de desbordamiento*			
Nombre	*Miles de millas cuadradas*	*Pulgadas*	*Miles de pies por acre*	*Billones de galones diarios*	*Miles de pies cúbicos por segundo*
Nueva Inglaterra	73	23	90	80	124
Medio Atlántico	102	17	92	83	128
Golfo y Sur Atlántico	251	16	214	191	296
Grandes Lagos—San Lorenzo [1]	128	13	89	79	123
Río Ohio	163	16	139	124	192
Valle Tennessee	41	22	48	43	66
Bajo Mississippi	64	16	55	49	75
Souris y Rojo [1]	60	1.6	5.1	4.6	7.1
Cuenca Alto Mississippi	188	7.6	76	68	105
Cuenca Missouri [1]	520	1.9	53	47	73
Arkansas-White-Red	264	6.9	97	87	134
Río Grande y Golfo	341	3.2	58	52	80
Cuenca Columbia [1]	219	8.4	98	88	136
Gran Cuenca	186	1.1	11	9.7	15
Cuenca Colorado	272	1.1	16	14	22
Norte Pacífico	38	45	91	81	126
Centro y Sur del Pacífico	48	13	33	30	46
Valle Central	64	10	34	30	47
Estados Unidos de Norteamérica	3,022	8.1	1,299	1,160	1,795

[1] Sólo incluye la parte de la cuenta en los Estados Unidos de Norteamérica.

"Pulgadas" equivale a la profundidad del área de desagüe.

Millones de pies por acre equivale a pulgadas multiplicadas por el área de desagüe y divididas por 18,750.

Billones de galones diarios equivale a pulgadas multiplicadas por el área de desagüe y divididas por 21,002.

Miles de pies cúbicos por segundo equivale a pulgadas multiplicadas por el área de desagüe y divididas por 13,574.

NOTA: Esta tabla muestra el promedio de desbordamiento anual que se origina en cada cuenca, calculado sobre la base de los registros de flujo de las corrientes para el periodo 1921-45, y compilado en parte de los mapas y datos contenidos en las Circulares 44 y 52 de la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica. El promedio anual de desbordamiento representa la cantidad total de agua (superficial y del suelo) disponible para usarse continuamente. Debido a las fluctuaciones anuales en los totales de desbordamiento, la cantidad de agua disponible en cualquier año dado puede variar grandemente de los promedios citados. La tabla no incluye el agua disponible en los depósitos de agua del suelo ni la que se repone en forma perenne. Para conocer los suministros de agua superficial y del suelo en determinadas localidades, véanse las Publicaciones de Suministro de Aguas de la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica.

El agua y nuestros bosques



Los árboles también necesitan agua en el lugar y tiempo apropiados

G. L. Hayes y Jesse H. Buell

EL AGUA ES ESENCIAL para la vida de de toda clase de plantas; pero los árboles, los gigantes del mundo de las plantas, requieren cantidades excepcionales.

Casi las tres cuartas partes del peso de un árbol vivo consisten de agua o están compuestas de agua, y una sequoia roja antigua puede pesar hasta 300 toneladas. Sin embargo, la cantidad de agua que retienen los árboles es insignificante comparada con la que se evapora o transpira de sus hojas, pudiendo transpirarse hasta 1,000 libras de agua por cada libra de madera seca que se produzca.

Muy probablemente la vida orgánica se originó en las aguas de los mares prehistóricos. Desde hace mucho tiempo han emigrado a la tierra muchas formas de plantas y animales, pero su fisiología todavía está inextricablemente relacionada con el agua. Los árboles no son una excepción, y el agua disponible para su crecimiento determina en gran parte el sitio donde puedan crecer, las clases que puedan crecer y el tamaño de su crecimiento.

Al igual que con las demás plantas verdes, el crecimiento de los árboles se inicia con la absorción de los materiales que se combinan químicamente para formar la madera, corteza, hojas y frutos de los mismos, y el agua es uno de los materiales esenciales de crecimiento.

Los demás son el bióxido de carbono, los nitratos y varias clases de minerales. El agua, los nitratos y los minerales se absorben de la tierra, y los nitratos y minerales se absorben en soluciones acuosas, ya que no pueden penetrar a los árboles en otra forma cualquiera. Hasta el bióxido de carbono, que los árboles extraen de la atmósfera, pasa por una solución acuosa tan pronto como penetra a las células de las hojas. Una vez dentro de los árboles, todo el movimiento de esos materiales se efectúa en forma de soluciones acuosas y todas las reacciones químicas ocurren en el agua.

En las soluciones acuosas de los árboles se efectúan muchos cambios químicos a medida que el agua, el bióxido de carbono y los demás materiales se combinan en forma semejante a bloques de construcción químicos para producir la estructura física de los árboles.

El primero de estos cambios, el proceso llamado de fotosíntesis, tiene significación especial para todos nosotros. Mediante la fotosíntesis los árboles recogen y almacenan grandes cantidades de energía solar en forma de glucosa, un sencillo carbohidrato: El agua, más el bióxido de carbono, más la energía, producen glucosa y oxígeno.

La glucosa es un paso intermedio en la fabricación de los carbohidratos más complejos, ricos en energía solar, que final-

mente constituyen la mayor parte de los cuerpos de los árboles. Los árboles de las etapas prehistóricas cayeron en los pantanos, arrastrando con ellos sus ricos depósitos de energía solar y formaron el carbón y el petróleo crudo. Cuando quemamos madera, carbón o aceite para calentar nuestros hogares o usamos gasolina para mover nuestros vehículos, estamos utilizando la energía almacenada por medio de la fotosíntesis; pero ese proceso no es sólo peculiar a los árboles, sino que se lleva a cabo por todas las plantas verdes, y al final, los carbohidratos de las plantas son la única fuente de alimentos que contengan energía para todos los animales, incluyendo el hombre. Aproximadamente seis décimas partes del peso de los carbohidratos de las plantas consisten de oxígeno derivado del agua.

El agua tiene todavía otra función más en los árboles, la conservación de la turgidez, la presión en las células vivas que mantiene firmes a las plantas. Esa función influencia la proporción de crecimiento y la altura final de los árboles, y puede cambiarse por medio de prácticas forestales de cultivo. El crecimiento de los árboles es el producto final de una serie de procesos químicos y físicos que ocurren en las células vivientes. Esos procesos sólo pueden continuar a toda velocidad cuando los contenidos de las células se diluyen con agua y éstas quedan fuertemente distendidas por la presión interna del agua. Cuando disminuye el contenido de agua de las células ocurren cambios vitales y los contenidos de ellas se hacen más concentrados, lo que retarda todos los procesos físicos y químicos en ellas y, por lo tanto, estorba el crecimiento. Si el agua de las células disminuye demasiado, ocurren cambios irreversibles en sus contenidos vivientes y mueren todas las partes afectadas.

Es tan importante que las células se conserven constantemente llenas de agua que todos los árboles tienen un mecanismo propio para regular las pérdidas de agua. El agua se pierde principalmente por transpiración, o sea la evaporación a través de diminutas aberturas en las hojas, llamadas estomas. Cuando baja la presión del agua en las células de las hojas, los estomas se cierran para evitar mayores pérdidas; pero esos mismos estomas de las hojas son también los pasajes a través de los cuales entra el bióxido de carbono a los árboles, y normalmente están abiertas cuando hay luz suficiente para la fotosíntesis. Cuando se cierran para disminuir las pérdidas de agua, interrumpen el suministro de bióxido de carbono que es esencial para la fotosíntesis, y en esto radica el conflicto básico en la vida de los árboles. El bióxido de carbono sólo puede asimilarse a través de los estomas abiertos; pero cuando éstos se abren la transpiración ocurre libremente, y el exceso de ella disminuye la presión de agua de las células y, por lo tanto, estorba el crecimiento. Para protegerse contra las pérdidas excesivas de agua y la muerte de las partes afectadas, los estomas se cierran, restringiendo la admisión del bióxido de carbono y deteniendo todavía más el crecimiento. En esa forma el agua tiene un papel importante en la regulación del crecimiento de los árboles.

Las condiciones de la atmósfera afectan la proporción de transpiración, la que es mayor cuando el aire está caliente, seco o en movimiento, y es menor cuando el aire está frío, húmedo o en calma. Como las velocidades del viento son ordinariamente menores cerca de la superficie y aumentan rápidamente con la altura sobre ella, los árboles quedan sujetos a una mayor transpiración a medida que se hacen más altos.

La capacidad de un árbol para reemplazar el agua perdida por transpiración queda limitada por el agua disponible en la tierra y por su sistema de transportación de la misma. A medida que los árboles crecen más altos se hace más difícil el rápido reemplazo del agua perdida por transpiración. Los árboles más grandes tienen más follaje que transpira agua, forman más madera cada año y sus copas se proyectan cada vez a mayor altura a los vientos. Además, tienen que elevar el agua a mayor altura y esto requiere más energía, parte de la cual tiene que obtenerse por la destrucción de carbohidratos que de otro modo se utilizarían para el crecimiento. En días calientes, secos y airosos, la transpiración puede exceder fácilmente de la capacidad de los árboles para reemplazar inmediatamente esas pérdidas,

y se producen deficiencias internas de agua. A medida que los árboles crecen más altos, esas deficiencias de agua se vuelven más crónicas y agudas; el crecimiento, especialmente en los puntos más altos, se vuelve cada vez más lento y los árboles pierden su vigor. Es fácil darse cuenta que la falta de agua puede restringir la altura de los árboles.

Los árboles nunca crecen muy alto en climas en los que el aire es seco y los vientos soplan fuertemente durante la estación de crecimiento. Aun si crecen en las orillas de las corrientes con sus raíces en un suministro inextinguible de agua, la transpiración puede ser mayor que la proporción en que el árbol pueda absorber más agua desde sus raíces a las hojas. Por otra parte, los árboles crecen más alto en aquellos medios en que las proporciones de transpiración son menores. En esas condiciones puede mantenerse por más tiempo la turgidez de las células, y el crecimiento puede ser más rápido y continuo hasta que los árboles son más altos. Los árboles crecen más alto en las concavidades abrigadas de las montañas y en el interior de las árboledas aisladas que en los crestones barridos por los vientos o en las orillas expuestas de las arboledas. Las sequoias rojas, los árboles más altos del Continente Norteamericano, crecen en la zona de nieblas de la costa del Pacífico, en donde la atmósfera es húmeda. Los abetos Douglas crecen más rápidamente y más alto en las regiones más húmedas de la zona en donde ocurren.

Los árboles pueden crecer más alto dentro del abrigo de un bosque tupido que cuando quedan más expuestos a los vientos. Cuando los bosques demasiado densos se aclaran por el fuego, por los ataques de los insectos o por talas parciales, los árboles restantes quedan expuestos a una transpiración excesiva, y no es raro que disminuya rápidamente el vigor de esos árboles descubiertos repentinamente, destruyéndose a menudo la parte superior de sus copas en varios pies.

Las grandes necesidades de agua de los árboles los limitan a la zonas más húmedas del mundo. La distribución mundial de los bosques y de las especies de árboles queda controlada primordialmente por el clima en términos de calor y agua. Cuando hay el calor suficiente para que crezcan los árboles, el agua determina su distribución y su clase, ya que las diferentes clases de árboles tienen diversas necesidades de humedad.

Lo árboles, como las demás plantas, han estado cambiando a través de las épocas, y la evolución orgánica ha producido miles de clases diferentes. Aun para un observador casual, muestran notables diferencias de aspecto: Algunos tienen hojas, mientras que otros tienen hojas anchas; en algunos las hojas caen anualmente, mientras que otros las conservan durante todo el año; algunos producen bellotas y otros piñas. Difieren también notablemente en las necesidades de su medio de habitación. Algunos necesitan una abundante humedad de la tierra y otros pueden vivir con muy poca humedad; unos requieren abundante humedad durante todo el año y otros durante sólo una parte de él; unos requieren una atmósfera húmeda y otros toleran una atmósfera seca. A través de los siglos de evolución se han desarrollado plantas que se adaptan a casi todas las condiciones de humedad que se encuentran sobre la tierra, y muchos cientos de especies de árboles han evolucionado, que se adaptan a una gran variedad de medios húmedos.

Los bosques constituyen generalmente la vegetación dominante en donde quiera que la precipitación anual excede aproximadamente de 25 pulgadas. Las tierras que son demasiado secas para los bosques sostienen ordinariamente hierbas o arbustos resistentes a la sequía. Sin embargo, la relación entre los bosques y la precipitación no es muy sencilla. La cantidad de agua disponible para el crecimiento de los árboles no puede expresarse solamente en términos de precipitación anual, ya que se requiere menos agua en donde las proporciones de evaporación y transpiración son bajas que en donde son más elevadas. Por lo tanto, se necesita menos lluvia en las regiones frías que en las calientes. Hay partes de los Trópicos que tienen hasta 40 pulgadas de lluvia y que carecen de árboles. En New Mexico los pinos ponderosa necesitan anualmente 20 pulgadas de lluvia o más, pero 15 pulgadas les

son suficientes en Montana. Los bosques de pinabetes y abetos de Saskatchewan no reciben más precipitación que las planicies cubiertas de hierba de North Dakota.

Los bosques necesitan menos precipitación donde la atmósfera es húmeda que donde es seca, y se necesitan menos lluvias en las tierras porosas y arenosas que en la tierras más pesadas en las que el agua penetra lentamente. Las sequoias rojas que buscan la humedad pueden crecer con sólo 25 pulgadas de lluvia en la zona de nieblas de la costa del Pacífico donde las pérdidas por transpiración son bajas. Las extensas superficies de tierras pesadas de las estepas rusas, las planicies cubiertas de hierbas cortas, sólo pueden sostener esas hierbas; pero las bajas colinas de arena que se encuentran en ciertas partes de las estepas se encuentran cubiertas de árboles.

Los bosques requieren también un suministro seguro de agua. Al moverse hacia el Oeste, los primeros pobladores vieron que los grandes bosques de los estados del Este se convertían en praderas cubiertas de hierba en Illinois y en los estados adyacentes, anque no había una disminución apreciable en el promedio anual de precipitación. La terminación de los bosques coincidía con un cambio en la seguridad de la humedad.

Edgar N. Transeau, en un artículo que escribió en 1935 en *Ecología* (tomo 16, págs. 423-437), demostró que en las praderas la precipitación varía más de un año a otro, que las sequías son más frecuentes y serias, que la precipitación no se encuentra tan uniformemente distribuida durante el año y que la atmósfera es más seca en verano. Las sequías extremadas de 1913-1914 y 1930-1934, destruyeron muchos árboles en las márgenes de las praderas, y los linderos de los bosques retrocedieron. Aparentemente las graves sequías ocasionales impiden que los bosques se propaguen hacia el Oeste.

La precipitación de invierno es más eficaz para los árboles que la de verano. Las proporciones de evaporación y transpiración son más bajas en invierno y las lluvias sucesivas pueden acumularse en la tierra y penetrar profundamente en ella, o la nieve puede amontanarse en el suelo y saturarlo al fundirse. Por otra parte, las lluvias de verano caen cuando los vientos calientes y las plantas que crecen activamente devuelven rápidamente el agua a la atmósfera, y rara vez hay humedad sobrante que penetre a las capas profundas de la tierra. Treinta pulgadas de lluvia que caigan en su mayoría durante el invierno bastan a los bosques de abetos Douglas del sudoeste de Oregon; pero si esa misma cantidad cae durante el verano, sólo produce hierbas en Iowa.

Aun la forma en que caiga la precipitación puede afectar la distribución de los bosques. El nivel inferior de los bosques en la vertiente occidental de la Sierra Nevada en California se aproxima al nivel de las nieves persistentes de invierno, y Edgar N. Transeau demostró que los linderos entre los bosques de coníferas del Norte y los bosques de maderas duras del Norte en el este de los Estados Unidos de Norteamérica, quedan cerca de una línea que recibe anualmente 40 pulgadas de nieve.

LA DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES mundiales en relación con el agua se aclara extraordinariamente con la clasificación de los climas mundiales. La clasificación hecha por C. W. Thornthwaite en *El Clima y el Hombre*, el "Anuario de Agricultura de 1941", incluye una división de la tierra en zonas calientes y húmedas. En la zona caliente la "precipitación efectiva" determina en gran parte las clases de vegetación que crecerán. La precipitación efectiva es la cantidad disponible para el crecimiento de las plantas, o la precipitación total menos el desbordamiento y la evaporación. La zona caliente se extiende desde el Ecuador, aproximadamente, hasta los 50° ó 55° de latitud (aproximadamente el lindero norte de los Estados Unidos de Norteamérica). En las dos zonas frías que siguen de la zona caliente hacia los Polos, las plantas no pueden utilizar completamente la cantidad de humedad ordinariamente disponible en la corta estación de crecimiento. Por lo tanto, la eficiencia de la temperatura es más crítica para determinar las clases de vegetación.

El doctor Thornthwaite divide la zona caliente en cinco provincias de humedad, y la zona fría en tres provincias de tem-

peratura, lo que da un total de ocho principales provincias climatológicas en el mundo. Cada provincia tiene una forma de vegetación típica. Los bosques son la vegetación típica en las dos provincias de humedad más húmedas y en la más caliente de las provincias de temperatura.

Provincias de humedad	*Vegetación*
A. Superhúmeda,	Bosque pluvial.
B. Húmeda,	Bosque.
C. Subhúmeda,	Hierba.
D. Semiárida,	Estepa.
E. Arida,	Desierto.

Provincias de temperatura	*Vegetación*
D'. Taiga,	Bosque de coníferas.
E'. Tundra,	Musgos, líquenes, juncos.
F'. Congelación permanente,	Ninguna (hielo y nieve).

La influencia del agua en la distribución de los bosques se precisa especialmente en las regiones tropicales en donde el calor es suficiente para el crecimiento de los árboles en cualquier parte. Los Trópicos se extienden a ambos lados del Ecuador hasta los 23.5° de latitud. En el Continente Norteamericano la zona tropical se extiende desde el norte de México y apenas toca el extremo sur de Florida.

Los climas de los Trópicos forman un patrón regular que incluye las cinco provincias de humedad del doctor Thornthwaite. De la superhúmeda y húmeda en la zona ecuatorial, en donde llueve casi diariamente, pasan gradualmente hacia el Norte y hacia el Sur a las provincias subhúmedas y semiáridas, que sólo tienen humedad durante una parte del año y que se secan en el resto del mismo, hasta una zona intermitente de desiertos alrededor del planeta que marca los límites de los Trópicos al Norte y al Sur.

La vegetación muestra una gradación semejante. Los densos bosques pluviales de árboles siempre verdes de hojas anchas, son típicos de la provincia superhúmeda de la zona ecuatorial. Al norte y al sur de ella cambia la naturaleza de los bosques para adaptarse a la disminución en la humedad, volviéndose más bajos y menos densos. Los árboles son tipos decíduos de hojas anchas que las dejan caer y quedan en reposo durante la estación seca, ya que no podrían sobrevivir al clima caliente y seco si retuvieran su follaje y continuaran transpirando cuando no hay agua disponible en la tierra. Más allá de los límites de la provincia húmeda los bosques dejan el lugar a los árboles esparcidos, a menudo espinosos y de poca altura, de las tierras de hierba (sabanas), que a su vez se convierten en estepas y desiertos en las provincias semiáridas y áridas.

LAS ZONAS TEMPLADAS que quedan entre los Trópicos y los Círculos Artico y Antártico, tienen climas más complejos que los Trópicos.

Incluyen todas las cinco provincias de humedad, así como la más caliente de las provincias de temperatura, la taiga.

Los climas de la Zona Templada pueden ilustrarse mejor refiriéndonos al Continente Norteamericano. Se extiende un importante lindero climatológico desde la parte central de Maine, hacia el Noroeste, hasta el sur de Alaska. Las provincias de humedad quedan al sur de esa línea y las de temperatura al norte de la misma.

La parte del Continente que se incluye en las provincias de humedad puede dividirse en tres porciones aproximadamente iguales: La tercera parte oriental es húmeda, con una precipitación uniformemente distribuida durante todo el año. La tercera parte central es de subhúmeda a árida, con mayor precipitación en verano que en invierno. La tercera parte occidental es una zona montañosa en donde los suministros de humedad varían grandemente de un sitio a otro.

Entre las Montañas Rocallosas y la barrera montañosa formada por la Sierra Nevada y las Montañas Cascade de la costa occidental, las montañas rigen el suministro de humedad. Las provincias de humedad están situadas en bandas de altura en las montañas, progresando de las provincias subhúmedas o más secas en la base de las mismas, a las húmedas y a veces superhúmedas en lo alto. Las monta-

ñas más altas incluyen aun las provincias de temperatura en bandas consecutivas de altura, la taiga, la tundra y los hielos y nieves perpetuos. La distribución estacional de la precipitación es muy variable en ese territorio montañoso. La tierra al oeste de la Sierra Nevada y de las Montañas Cascade, se caracteriza por sus inviernos húmedos y veranos secos, estando representada toda la serie de provincias de humedad, desde los desiertos áridos del noroeste de México hasta una faja superhúmeda que va de la costa del norte de California al sur de Alaska.

De las provincias de temperatura sólo la taiga puede sostener árboles. Forma una faja de casi 1,000 millas de ancho a través del continente en Canadá, y se extiende muy lejos hacia el Sur a lo largo de las más altas cadenas montañosas. La taiga es una provincia húmeda, pero la tierra y el agua del suelo son típicamente tan frías que los árboles tienen dificultad para extraerla. Por lo tanto, el agua sólo queda disponible con mucha lentitud para los árboles de la taiga, aun cuando abunde en la tierra, y sólo pueden vivir en ella aquellos árboles que necesitan relativamente poca agua.

Tres clases generales de árboles componen los bosques de la Zona Templada Norte que incluye a Norteamérica: Arboles decíduos de hojas anchas, coníferas y pequeños siempre verdes de hojas anchas. Los árboles decíduos de hojas anchas, tales como los robles y arces, requieren más humedad y ocupan las provincias superhúmedas y húmedas que tienen una atmósfera húmeda y una precipitación uniformemente distribuida en todo el año. Las coníferas toleran más dificultades y predominan en las provincias superhúmedas y húmedas en las que la precipitación se concentra en invierno, y en partes de la provincia húmeda y aun de la subhúmeda que son demasiado secas para las especies decíduas de hojas anchas, así como la provincia de la taiga. Los árboles siempre verdes de hojas anchas de la Zona Templada Norte son árboles pequeños con hojas pequeñas y gruesas y a menudo escasas, tales como el chaparral de California. Extraordinariamente adaptados a las regiones secas, viven en medios subhúmedos.

La provincia húmeda del Este, con su suministro uniforme de humedad durante todo el año, es especialmente favorable para los árboles decíduos de hojas anchas y está ocupada por los bosques continuos más grandes de su especie en el mundo. Es también muy rica en diferentes clases de árboles, incluyendo más de 30 especies de robles.

Sin embargo, la composición de los bosques decíduos cambia de Sur a Norte. En el Sur predominan los robles, castaños y álamos amarillos, pero incluyen muchos otros que requieren una larga estación de crecimiento. Hacia el Norte y tierra adentro, predominan las especies que toleran una estación de crecimiento más corta y temperaturas más frías. Vienen primero los robles y nogales de estación corta, y luego, más hacia el Norte, los abedules, hayas y arces. De acuerdo con la regla general universal de que los medios más hospitalarios mantienen una mezcla más rica de especies de árboles, el número de especies que componen los bosques de la provincia oriental húmeda disminuye de Sur a Norte, a medida que las temperaturas se hacen menos favorables y los bosques se cambian a los pinabetes y abetos de la provincia de la taiga cerca de la frontera canadiense.

Mezclados con los bosques de árboles decíduos de hojas anchas de la provincia húmeda, ordinariamente en tierras poco fértiles, se encuentran los bosques de pinos. El más notable es el gran piñero del Sur, que ocupa la planicie costera del Sudeste desde New Jersey, al este de Texas. A causa de la poca fertilidad de las tierras de la planicie costera arenosa, los pinos han podido mantenerse en esa gran área, aunque se encuentra en un clima que favorece a los árboles decíduos de hojas anchas.

Los bosques del oeste intermontañoso que quedan entre las Montañas Rocallosas y la barrera formada por la Sierra Nevada y las Montañas Cascade, se componen de coníferas. La zona es muy seca para los árboles decíduos de hojas anchas y se encuentran varias clases de árboles coníferos a diferentes alturas, porque el clima cambia con la altura.

G. A. Pearson ha estudiado a fondo la sucesión de alturas de los tipos de bos-

ques en las montañas de Arizona y New Mexico (*Los Tipos de Bosques del Sudoeste Determinados por el Clima y la Tierra,* Boletín Técnico núm. 247 del Departamento de Agricultura, 1931), y concluyó que las deficiencias de calor fijan los límites superiores y las deficiencias de agua los límites inferiores a que pueden crecer las diferentes especies, y clasificó los requisitos mínimos de humedad y calor para cuatro tipos de bosques: Tierras boscosas de pinos Pynyon y enebros (5,000 a 7,000 pies), de 12 a 16 pulgadas de precipitación y un promedio máximo de temperatura del aire, de junio a septiembre, de 78° a 81° F.; pino ponderosa (7,000 a 8,000 pies), 20 pulgadas y 70°; tipo de abeto Douglas (8,000 a 9,500 pies), de 24 a 26 pulgadas y de 60° a 62°, y para el pinabete Engelmann y especies asociadas (9,500 a 11,500 pies), 30 pulgadas y 57° ó 58°.

Los tipos de bosques estudiados por G. A. Pearson son muy extensos en todo el oeste intermontañoso; pero al moverse hacia el Norte desde Arizona y New Mexico, cada tipo se encuentra a alturas sucesivamente más bajas, de acuerdo con la disminución de calor y la mayor eficacia de la precipitación que acompaña al cambio de latitud. Las tierras boscosas de pinos y enebros terminan en el centro de Wyoming, sur de Idaho y centro de Oregon, y los pinos ponderosa terminan en el extremo sur de Canadá, ambos debido al calor insuficiente. Esta tendencia continúa en el Círculo Artico, el último límite del tipo de pinabete y abeto de la provincia de la taiga. Al norte de Idaho y al oeste de Montana, la parte más húmeda de la región intermontañosa, los bosques de pino blanco occidental y alerce occidental pueden reemplazar al abeto Douglas, y hay bosques de pinos de poste esparcidos en el norte del área intermontañosa, que son los precursores en las tierras recientemente incendiadas o que ocupan indefinidamente algunas tierras en los climas del pino ponderosa y del abeto Douglas, que no son adecuados para las demás especies.

Al oeste de la Sierra Nevada y de las Montañas Cascade, la vegetación cambia notablemente de la Baja California árida a los climas húmedos, y de taiga de las altas montañas y a la faja superhúmeda, a lo largo de la costa norte.

Los chaparrales, compuestos de árboles bajos y de maleza, que tienen hojas anchas y siempre verdes, pero pequeñas y gruesas, ocupan los medios más secos de los bosques, en su mayor parte en la provincia subhúmeda. Arriba y hacia el norte del chaparral, los pinos de azúcar y los pinos ponderosa se mezclan para formar los bosques occidentales de pinos más productivos y valiosos, que ocupan la provincia húmeda en las montañas de California y parte del sur de Oregon. En Oregon los pinos se encuentran con los grandes bosques de abetos Douglas, que ocupan los medios húmedos y superhúmedos del noroeste del Pacífico.

La forma de abeto Douglas de la costa occidentad es diferente de la forma de las Montañas Rocallosas y no crece en este último medio. Al oeste de las Montañas Cascade, en donde la estación húmeda puede durar 8 ó 9 meses, forma bosques que se cuentan entre los más productivos del mundo. Con frecuencia se llama bosques pluviales a los bosques costeros de abetos Douglas, que crecen apenas con 30 pulgadas anuales de lluvia, pero que tienen un crecimiento mucho mejor cuando la precipitación es mayor y cuando la atmósfera se conserva constantemente húmeda.

En la zona superhúmeda de nieblas, a lo largo de la costa del Pacífico, hay un bosque extremadamente exuberante de árboles gigantescos. El reino de las magníficas sequoias rojas se extiende desde San Francisco hasta la frontera de Oregon. Al norte de las sequoias rojas y extendiéndose hasta Coos Bay, Oregon, está la zona de los cedros de Port Orford, que son poco conocidos pero muy valiosos, y a todo lo largo de la costa, pero aumentando a medida que se avanza hacia el Norte, los pinabetes Sitka y los abetos norteamericanos del Oeste forman bosques agresivos de crecimiento rápido mezclados con los abetos Douglas. Las sequoias rojas y los abetos Douglas comparten la distinción de ser los árboles más altos, con los eucaliptos australianos. Los cedros de Port Orford son la especie mayor de su género; el abeto norteamericano occidental es la mayor de nuestras espe-

cies norteamericanas; el pinabete de Sitka es el mayor en todo el mundo, y otro árbol de esa tierra con abundantes riegos, el cedro rojo occidental, es el árbol de vida mayor del mundo. Estos bosques de gigantes son posibles debido a la copiosa precipitación de invierno y las nieblas de verano, que mantienen la transpiración al mínimo.

Debido a la corriente caliente del Japón, a lo largo de las costas del Pacífico, los bosques de taiga de pinabetes y abetos se extienden hacia el Norte más allá del Círculo Artico, por más de 15° de latitud de lo que se extienden en la costa del Atlántico; pero los pinabetes y abetos del lejano Norte no son extraños más hacia el Sur , y siguen el clima de la taiga de las altas montañas al sur de la línea del Estado de Georgia en los Montes Apalaches hasta New Mexico y Arizona en las Montañas Rocallosas, y más allá del centro de California en la Sierra Nevada, pareciendo que han encontrado y ocupado todos los medios húmedos que son demasiado fríos para otras especies de árboles.

A VECES los guardias forestales y los dueños de tierras boscosas pueden favorecer las clases de árboles que prefieren y cambiar la proporción de crecimiento de ellos variando las cantidades de humedad de la tierra en los bosques. Los retoños de árboles son ejemplares frágiles que carecen de las profundas raíces de los árboles adultos y que pueden morir rápidamente por exceso o escasez de humedad en las capas superiores de la tierra. Como es más fácil hacerlo, el guardia forestal depende de la manipulación de la humedad en las capas superiores de la tierra en vez de las más profundas para controlar la composición de las especies y la proporción de crecimiento de los árboles. Trabaja a menudo con retoños de árboles en los bosques cuando se está cayendo la semilla que producirá la siguiente generación de árboles, debido a que la humedad es muy crítica.

Naturalmente, puede controlar más fácilmente la humedad de la tierra cuando los retoños de árboles se cultivan en viveros y se trasplantan más tarde a los bosques. Por ejemplo, los retoños de pino del Sur cultivados en viveros, necesitan, aproximadamente, una pulgada de agua a la semana durante su primer verano, y si las lluvias caen en proporción menor pueden abrirse los rociadores de los invernaderos. Las hierbas que compiten con los retoños de árboles para el aprovechamiento de la humedad en los almácigos de los viveros pueden arrancarse a mano o destruirse con substancias químicas.

Después, cuando los trasplantes se llevan a los bosques, pueden seleccionarse especies resistentes a la sequía para plantarlas en tierras secas, y otras que necesitan humedad para plantarlas en sitios pantanosos. Los expertos en la siembra de árboles en los estados de los Lagos, en el Sur y en otras partes, recomiendan clases de árboles completamente diferentes para áreas húmedas y secas. Las fajas de protección y las pantallas contra el viento crecen en las planicies que carecen naturalmente de árboles, sólo porque se han encontrado clases de árboles especialmente resistentes que pueden soportar los vientos calientes y secos y vivir con muy poca humedad. Se han buscado en todo el mundo árboles resistentes a la sequía, y ahora el olmo siberiano y el olivo ruso son casi tan comunes en las zonas de abrigo como el álamo, el olmo o el enebro nativos.

La búsqueda de áreas con cantidades apropiadas de humedad de la tierra para la siembra de árboles es una buena manera de incrementar las oportunidades de éxito. Los pinos prosperan muy bien cuando se siembran en tierra arenosa con una meseta de agua permanente que quede solamente de 2 a 5 pies bajo la superficie. En contraste, los sitios más secos y mejor desaguados en la Planicie Costera Atlántica deben escogerse para plantar pinos del Sur.

A menudo es necesario preparar la tierra para la siembra de árboles, removiendo la maleza y las hierbas que robarían la humedad a los árboles tiernos. Los trabajadores de los estados de los Lagos han llegado a la conclusión de que la siembra de árboles sin la debida preparación de la tierra es un esfuerzo desperdiciado. Se usan surcos en donde van a plantarse los árboles o se emplean rastras de discos para matar las hierbas y maleza. Los ála-

mos híbridos plantados en suelo de terrones no crecen bien porque no pueden competir con las hierbas en la obtención de humedad, y muchos mueren desde un principio. Aquellos que sobreviven pueden crecer sólo la tercera parte o la mitad, tan aprisa como los que se encuentran en tierras de las que se limpiaron las hierbas antes de sembrarlos. El voltear la tierra significa una ventaja adicional, ya que produce cierto "efecto de fertilidad" que puede deberse en parte a la capacidad de la tierra en descomposición para absorber el agua como una esponja.

Los árboles plantados en regiones de escasas lluvias pueden cultivarse hasta que hayan crecido lo suficiente para dar sombra a las hierbas que les quitarían la humedad.

E. N. Munns y Joseph H. Stoeckeler, describieron en el "Diario de Silvicultura", tomo 44, página 249, 1946, las condiciones de las zonas de abrigo plantadas por el Proyecto Forestal de los Estados de las Planicies, y concluyeron: "El cultivo adecuado es el factor aislado más importante para determinar el éxito o el fracaso de la siembra de árboles en las planicies."

Harold F. Scholz (en la Circular núm. 344 del Departamento de Agricultura, 1935) enfatizó la importancia que cada gota de agua tiene para los árboles de la región de las Planicies en estas palabras: "En una área como ésta, que sólo recibe normalmente de 16 a 18 pulgadas de lluvia, puede considerarse como año de sequía todo aquel que baje apreciablemente del nivel normal. El equilibrio es tan crítico aquí, que, a menos de que la distribución sea tal que favorezca la vegetación durante la estación de crecimiento, una disminución en la precipitación de sólo una pulgada al año puede tener marcados efectos en los árboles, y en cualquier caso es probable que cause una disminución en los escasos suministros de humedad almacenados en la tierra. En el caso de una cosecha de trigo, el primer año de escasez podría disminuir seriamente el rendimiento, y si persiste la sequía, tendría que abandonarse el cultivo del trigo durante un año, a fin de que el barbecho restaure más o menos las condiciones de humedad. Eso no es posible con los árboles individuales o los plantíos de ellos."

En otras partes del país en donde la lluvia es abundante, las plantaciones de árboles tiernos pueden todavía necesitar ayuda. En ellas el clima de humedad puede promover un denso crecimiento de plantas perennes o arbustos ya establecidos en los sitios de siembra, y éstos deben cortarse hasta que los árboles se hayan recuperado del choque del trasplante y que sus raíces hayan penetrado hacia abajo a través de las capas en donde las hierbas y la maleza pueden competir con ellos en el aprovechamiento de la humedad.

Los plantíos tiernos que han ocurrido naturalmente sin necesidad de sembrarlos necesitan también cuidados y atenciones. El espaciar los árboles más lejos unos de otros mediante la remoción apropiada hacen que crezcan más aprisa. Algunos de los beneficios de ese aclaramiento pueden explicarse por la mayor proporción de humedad obtenida por los árboles que quedan. Además, después de aclararlos pueden llegar a la tierra mayores cantidades de nieve y de lluvia, porque las ramas y las hojas retienen una parte más pequeña para evaporarla de nuevo al aire.

Sin embargo, el guardia forestal necesita mayor ingenio cuando se trata de ayudar al restablecimiento natural de los bosques después de haber utilizado los árboles maduros. Debe recordar entonces sus conocimientos sobre la sucesión normal de los bosques: Como los bosques secos, dentro de los límites de clima y si se abandonan a sus propios recursos por un tiempo suficiente, se vuelven más húmedos debido a la sombra y al humus que producen, y como los bosques húmedos, mediante el empleo de mayores cantidades de agua para su crecimiento, y llenando los lagos y los pantanos con hojas muertas, ramas y madera, se vuelven más secos. Recordará que es así como en el transcurso de los años, si la naturaleza sigue su curso, los bosques con árboles de hojas anchas pueden reemplazar a los bosques de pinos, y las selvas de pinabetes pueden convertirse eventualmente en bosques de abedules y arces.

Nótese que la humedad parece controlar esta sucesión natural y que, a través de los siglos o de los milenios, todos los

bosques, si se abandonan a sus propios recursos, se aproximarán a una condición de humedad promedia hasta donde es posible dentro de los límites impuestos por el clima, es decir, se aproximarán al clímax de los bosques en esa región, un bosque compuesto de árboles con necesidades de agua tan aproximadas al promedio (casi mesofísico) como sea posible con las lluvias y temperaturas que prevalezcan.

Esta solución del bosque clímax sólo se aplica en los bosques que se abandonan a sus propios recursos. Los terremotos, las inundaciones y los cataclismos geológicos pueden destruir los bosques interrumpiendo la sucesión natural o iniciándola de nuevo desde sus principios. El guarda forestal tiene que emplear métodos más benignos; pero puede acelerar la sucesión natural, detenerla o retrasarla mediante los métodos de recolección de la madera.

Las cortas parciales, la recolección de un árbol aquí y otro más allá en los bosques, producen pocos cambios en la humedad de la tierra, porque se deja un número suficiente de árboles para darle sombra y para moderar los vientos. La remoción de los árboles grandes o viejos puede aún acelerar el progreso hacia el clímax, haciendo el cambio más rápido que si se dejaran los árboles viejos hasta que murieran de muerte natural. En consecuencia, el guarda forestal utiliza las cortas parciales en los bosques que se encuentran en el clímax o cerca de él, si sus especies son utilizables para madera y si quiere perpetuarlas. Son ejemplo de esto los bosques de maderas duras de arce, abedul y haya del Norte. Las cortas parciales en ellos proporcionan la sombra fría y húmeda necesaria para la germinación y el establecimiento de esas valiosas especies. Los bosques de pinabetes y abetos son otro ejemplo. En las partes más secas de las zonas donde ocurren, los bosques de pino ponderosa se encuentran también cerca del clímax de la sucesión natural y parecen reproducirse mejor bajo ciertas formas de cortas parciales.

Muchos de nuestros bosques se encuentran demasiado abajo de la escala de sucesión natural. Esto es cierto en los abetos Douglas y en gran número de especies de pinos, especialmente los pinos del Sur. Las semillas de estas especies generalmente no germinan ni crecen bien a la sombra de los árboles progenitores, y si se les dejara solos, los bosques más mesofíticos reemplazarían eventualmente estos pinos y los plantíos de abetos Douglas. Por lo tanto, con la sola excepción de los árboles aislados o de los grupos de árboles que se dejan para semilla, el guardia forestal los corta completamente durante la recolección. Cuando se remueve la sombra que proyectan, el sol y el viento quedan libres para actuar en la tierra y secarla completamente. La abundancia de sol favorece la germinación y el crecimiento de los pinos tiernos, y ordinariamente la humedad de la tierra en los claros que quedan descubiertos es suficiente para mantenerlos. En esa forma se utiliza la violencia de las cortas completas para detener la sucesión natural hacia bosques más húmedos, y se perpetúan las valiosas especies de pinos y de abetos Douglas.

La humedad de las capas superiores de la tierra es tan crítica para el establecimiento de los retoños en los bosques como lo es en los viveros. La capa de desechos y de humus sobre la tierra se seca más rápidamente que la tierra que se encuentra debajo de ella, especialmente después de las cortas completas. A menudo es necesaria la remoción o la ruptura de esta capa, a fin de que la semilla caiga en la tierra que retiene la humedad suficiente para su germinación y para el rápido crecimiento de los árboles tiernos. Puede también ser ventajosa porque destruye las pequeñas plantas de la cobertura de la tierra que robarían el agua a los árboles tiernos. Además, los árboles tiernos que germinan en humus parecen inclinarse a formar sistemas superficiales de raíces dentro de la capa de humus y morirán cuando ésta se seque. Los árboles tiernos sembrados en tierras minerales producen a menudo profundas raíces que pueden encontrar humedad en las capas inferiores de la tierra cuando las superiores se secan. Las operaciones madereras, especialmente cuando se llevan a cabo con tractores, romperán la capa de desechos en partes de las áreas cortadas. Se han empleado varias clases de arados y

rastras para remover o escarificar el suelo de los bosques, y como ejemplo de lo anterior se han usado con éxito los arados de discos tipo Atenas, en los bosques de pino.

En ocasiones el guarda forestal puede emplear el fuego para preparar almácigos apropiados. Los ecólogos de plantas creen que la mayoría de nuestros magníficos plantíos de pino se iniciaron cuando se incendiaron los bosques viejos, y creen también que será difícil perpetuar algunos de los pinos del Sur, pinos de poste y aun los abetos Douglas sin el fuego. Su empleo para consumir las hojas y desechos que interfieren con las semillas y los retoños de los árboles ha tenido tanto éxito en el Sur que los investigadores están haciendo experimentos con él en otras partes. Probablemente los guardias forestales pueden depender pronto de los buenos efectos del fuego, pero siempre tendrán que luchar para impedir que cause daños.

Estas son algunas de las formas en que puede modificarse indirectamente la humedad de la tierra de los bosques, cambiando los bosques mismos. Pueden emplearse métodos más directos, y en nuestro país se ha experimentado el desagüe de los pantanos para hacerlos capaces de albergar maderas valiosas; pero este método parece haber tenido más éxito en Europa.

La posibilidad de modificar la humedad de la tierra haciendo algo con el clima no es tan remota como se creía. Supongamos que fuera factible predecir la ocurrencia de una estación más húmeda que lo normal en el Sudoeste semiárido. Los guardias forestales podrían entonces concentrar sus cosechas de madera de pino ponderosa y preparar sus almácigos en una época en que los retoños tiernos resultantes tendrían la mejor oportunidad para crecer, o supongamos que pudiéramos hacer llover. Una abundante lluvia producida en la época crítica en que las semillas de los árboles están germinando, podría establecer un bosque que continuaría creciendo todo el resto de su vida, probablemente 150 años o más, sin ninguna ayuda extra.

Al igual que cualquiera otra cosecha, la madera no puede crecer sin agua, y como otra cosecha cualquiera, necesita agua en el lugar y tiempo adecuados.

G. L. Hayes *ha sido dirigente del Centro de Investigación Siskiyou-Cascade del Servicio Forestal en Roseburg, Oregon, desde 1949, habiéndose graduado en las Universidades de Idaho y Yale.*

Jesse H. Buell *ha sido jefe de la División de Investigación sobre manejo de Bosques en la Estación Experimental de Bosques y Praderas de las Montañas Rocallosas del Servicio Forestal en Fort Collins, Colorado, desde 1951, habiéndose graduado en las Universidades de Yale y Duke.*

Cómo obtener más aguas de nieve de las tierras forestales

B. G. Goodell y H. G. Wilm

En todas las regiones nevadas de nuestro continente existen conjuntamente los pronfundos mantos de nieve y los bosques. Las excepciones son las áreas montañosas arriba de la línea de bosques y las tierras de cosechas y pasturas del Este, donde puede haber grandes accmulaciones de nieve sin que haya bosques; pero aun allí la nieve tiende a amontonarse con el viento en los bosques cercanos, dejando las áreas abiertas desnudas de ella.

De hecho existe una relación entre la nieve y los bosques. La nieve proporciona protección en invierno a los árboles tiernos y abundante humedad en primavera y a principios del verano, y el bosque, a su vez, afecta la acumulación y fusión de las nieves en muchas formas.

La estrecha asociación de los bosques y de las nieves, así como la importancia de éstas como fuente de agua, han hecho que se lleven a cabo extensos estudios sobre las formas en que los bosques pueden afectar las nieves y los suministros de aguas de ellas, efectos que van más allá del sencillo retardo del amontonamiento.

Consideremos, por ejemplo, que la nieve puede quedar afectada por la densidad

y clase de cobertura forestal. Los bosques pueden hacerse menos densos aclarando los árboles y más densos por medio de plantaciones u otros tratamientos que alienten la reproducción natural del crecimiento de los árboles tiernos. Pueden substituirse diferentes especies de árboles para reemplazar a las que ya existen: Las coníferas siempre verdes pueden reemplazarse con árboles de maderas duras, y viceversa, y pueden crearse patrones en los bosques con fajas de árboles maduros separadas por fajas de árboles tiernos y otras de retoños. Pueden abrirse claros del tamaño deseado en los bosques maduros, si esos claros favorecen el incremento o mejor control de las aguas de nieve. Todo lo anterior puede llevarse a cabo como una modificación de los procesos ordinarios de cuidado y recolección de las cosechas de madera, con el fin especial de mejorar los suministros de agua.

Las ideas anteriores nos llevan a la conclusión de que la nieve almacenada en los bosques tiene una estrecha relación con los rendimientos de agua de los arroyos. Se expresa el efecto de esta cobertura de nieve en las crecientes de primavera que caracterizan los arroyos en las latitudes septentrionales y en las zonas más altas de nuestro país. Después de un periodo de invierno de flujo constante y escaso, los arroyos comienzan a crecer cuando la nieve principia a fundirse, y las proporciones resultantes de su flujo que llegan hasta un máximo a fines de la primavera, son ordinariamente las mayores de las que se producen en todo el año.

Si se le compara con las cadenas montañosas occidentales, la nieve es sólo una pequeña fracción de la precipitación total anual en las partes centrales del norte y del nordeste de nuestro país. Sin embargo, en combinación con las lluvias tempranas, contribuye grandemente al desbordamiento de primavera de las corrientes. En los estados del Norte de los Lagos, New York y la Nueva Inglaterra, una quinta parte, o más, de la precipitación anual cae en forma de nieve, y el volumen anual de agua procedente de la fusión de las nieves constituye una porción todavía mayor del rendimiento total.

En ciertos aspectos puede compararse el almacenamiento de agua en un manto de nieve al de un depósito de almacenamiento, ya que a menudo se mantiene en reserva hasta la primavera. En un manto de nieve de invierno pueden almacenarse de 1 a 3 ó 4 pies-acre de agua por acre de tierra, o aún más, en espera de su liberación durante el tiempo caliente, y entonces la fusión de las nieves libera el agua en un volumen embravecido de flujo de corrientes cuya proporción y volumen sólo se regulan por la cantidad de nieve y el clima de primavera.

El agua de un depósito puede controlarse abriendo una válvula cuando se necesita agua, y cerrándola cuando se ha satisfecho esa necesidad o el flujo puede causar perjuicios. El agua en el "depósito" del manto de nieve no puede controlarse en forma tan directa ni en cantidad ni en tiempo, y por esa razón los depósitos de almacenamiento construidos por el hombre desempeñan generalmente una función valiosa en la regulación final de los rendimientos de agua de las vertientes hidráulicas forestales.

Al mismo tiempo, parece posible ejercer cierto control indirecto sobre los rendimientos de agua por medio del manejo adecuado de la cobertura forestal de las vertientes, y de hecho puede aún ser posible incrementar el rendimiento total de una vertiente, algo que no puede alcanzarse mediante la regulación de un depósito.

Se han hecho muchas investigaciones para determinar la forma en que puede emplearse el manejo de los bosques para regular los rendimientos de aguas de la nieve, y cómo pueden incrementarse los suministros de esas aguas y aceptar su proporción de liberación mediante el tratamiento de la cobertura forestal.

Las mediciones de la capacidad de almacenamiento y de la fusión de las nieves de muchos sitios y durante muchos años han demostrado en qué forma el tipo y condiciones de los bosques pueden influenciar esos factores variables.

Los estudios del clima dentro y fuera de los bosques han demostrado en qué forma los factores climatológicos que

controlan la fusión de las nieves quedan afectados a su vez por los bosques. Como resultado de todo ello se ha acumulado un volumen considerable de conocimientos sobre la forma en que los bosques, y el uso que se haga de ellos, influencian los suministros de aguas de las nieves, y especialmente sobre su influencia en la interceptación de la nieve que cae, en la evaporación de la superficie de un manto de nieve, en las proporciones de fusión y en los mismos rendimientos de agua.

La interceptación de la nieve que cae en el dosel del bosque, las agujas u hojas y ramas de los árboles, es probablemente el efecto más significativo de los bosques en los suministros del agua de las nieves. Los árboles presentan un dosel en el que se deposita una porción considerable de la nieve que cae, impidiendo que llegue inmediatamente a la tierra o a la superficie del manto de nieve.

No es necesario que la nieve esté húmeda o pegajosa para que ocurra la interceptación. La nieve seca, debido a la forma esponjosa de sus copos, se adherirá también a las copas de los árboles, habiéndose observado acumulaciones de nieve seca con una altura de varias pulgadas que han durado unas horas en un filo metálico agudo. Las ramas, ramitas y agujas de los árboles coníferos ofrecen un alojamiento más seguro a los copos de nieve y los retienen hasta con vientos moderados. Muchas veces esa retención se incrementa con una ligera fusión y la congelación posterior de la nieve que se encuentra en estrecho contacto con el follaje de los árboles y con su corteza, aunque esto no es necesario para causar una retención prolongada si a la nevada no siguen vientos fuertes. Los copos esponjosos se adhieren unos a otros todavía mejor que al follaje de los árboles.

Los habitantes de las regiones en donde nieva pueden observar a menudo esa interceptación de las nieves por los árboles, especialmente los coníferos. Sin embargo, no toda la gente se da cuenta del tiempo que la nieve puede quedar retenida en los árboles y lo que eventualmente sucede a la porción que interceptan.

Generalmente sigue a las nevadas un tiempo claro y seco con muy poco o ningún viento, y entonces las condiciones son especialmente favorables para la evaporación de la nieve (llamada en forma más apropiada sublimación cuando el cambio se hace directamente del estado sólido al gaseoso). La nieve que se encuentra en el dosel forestal, esparcida en todo lo alto de las copas de los árboles, queda expuesta por todos lados a pérdidas de evaporación. Si en lugar de quedar retenida en los árboles esa nieve hubiera caído a la tierra o a la superficie de los mantos de nieve, presentaría mucha menos superficie a los elementos climatológicos y quedaría también más sombreada contra los rayos del sol y protegida contra los vientos secos. La interceptación y la dispersión sobre el dosel forestal induce, por lo tanto, mucha más evaporación de la que ocurriría en otra forma.

Aun cuando los vientos sean lo suficientemente fuertes para desalojar la nieve recién caída, las pérdidas por evaporación pueden ser excesivas. Si el tiempo continúa frío, de modo que la nieve permanezca ligera y seca, a menudo el viento la arranca del dosel de árboles y la dispersa como una nube de humo a lo alto y a lo lejos en la atmósfera. En un día claro, mucha de esa nieve, en el aire turbulento que rodea a cada partícula, debe convertirse en vapor durante su paso antes de que pueda volverse a depositar en el dosel de árboles o en los mantos de nieve.

El tiempo caliente después de una nevada puede hacer que la nieve interceptada resbale de la copa de los árboles hasta el manto de nieve o gotee en forma de agua de nieve. Sin embargo, aun en esas circunstancias la evaporación puede ser considerable. Debido en parte a las temperaturas calientes, la película de agua se evapora más rápidamente que la nieve.

Las pérdidas de nieve del dosel de árboles debidas a la interceptación, evaporación y sublimación, nunca se han medido en forma directa y probablemente nunca podrán medirse. Sin embargo, se ha determinado muchas veces el resultado de esas pérdidas, en muchos lugares y bajo varias clases y condiciones de cober-

tura forestal. La interceptación en los bosques de maderas duras y las pérdidas consiguientes son menores, debido a su falta de follaje en invierno. Los bosques de coníferas que conservan su follaje durante el invierno, interceptan una cantidad mayor de cada nevada, dejándola expuesta a la evaporación y a la sublimación. Como el resto de la nieve pasa a través del dosel y se acumula como manto de nieve debajo de los árboles, pueden obtenerse medidas indirectas de las pérdidas por interceptación midiendo las cantidades de nieve almacenadas bajo los árboles.

Se efectuó una de estas investigaciones en las Montañas Rocallosas, en Colorado, a una altura aproximada de 10,000 pies. Las mediciones efectuadas durante 4 años, después de remover todos los pinos de poste maduros de tamaño comercial (de más de 9.5 pulgadas de diámetro) de varias parcelas aisladas de 8 acres, mostraron un promedio de aumento de 3.8 pulgadas de agua en el manto de nieve, o sea un aumento de 29%. La remoción de la mitad de los árboles de tamaño comercial de otras parcelas semejantes y un promedio de aumento de 1.7 pulgadas en la acumulación de nieve de invierno, o casi la mitad más que en las parcelas más taladas. En la misma área general el aclaramiento de los densos plantíos de pinos tiernos de poste de segundo crecimiento resultó en un promedio de aumento de 2.0 pulgadas, o un 20%. Ese aclaramiento disminuyó la densidad de los plantíos tiernos de pinos de poste aproximadamente a la mitad de la original.

En otro estudio efectuado en Colorado, la acumulación y fusión de las nieves bajo densos plantíos de pinos tiernos de poste se comparó con los mismos factores variables bajo álamos sin hojas y en áreas descubiertas próximas. Se acumuló casi un 30% más de nieves de invierno en los álamos que en los plantíos de pinos tiernos de poste.

E. G. Dunford y G. H. Niederhof comentaron lo siguiente: "Esto indica que las gruesas y estrechamente espaciadas copas de los pinos tiernos capturaron gran parte de la nieve y dejaron que se evaporara a la atmósfera desde las numerosas superficies de sus agujas y ramas. Los álamos, por lo contrario, desnudos de hojas en invierno, sólo ofrecieron una obstrucción ínfima a la caída de la nieve, y probablemente disminuyeron la evaporación superficial de la misma..."

Joseph Kittredge comprobó que los bosques coníferos interceptaban del 13 al 27% de las nevadas de invierno en las montañas de California, disipándolo por evaporación, ocurriendo las mayores pérdidas en las áreas boscosas más densas. En un estudio efectuado en New Hampshire, W. L. Maule obtuvo resultados semejantes. La cantidad de nieve que llegó a la tierra fue menor bajo los densos plantíos forestales, y en un bosque de maderas duras sin hojas, la caída de nieve a la tierra fue sólo ligeramente menor que en los espacios abiertos.

Naturalmente, la pérdida de nieve debida a la interceptación y a la evaporación, varía de acuerdo con los cambios de clima de un año a otro, y varía también de un sitio a otro aun en bosques de densidad semejante. La naturaleza de las nieves de invierno, la frecuencia y clase de las nevadas y el clima que siga a ellas, afectan las pérdidas de nieve. En el centro de Colorado se encontró que esas pérdidas eran mayores en los inviernos con nevadas excesivas y menores cuando el total de las nevadas era más bajo. Sin embargo, se indicó que esas pérdidas podrían tener un máximo que no se excedería aun en los inviernos con nevadas excesivas.

Hay lógica en este patrón de intercepción y evaporación que varía con el carácter general del clima de invierno. Las pérdidas por interceptación en inviernos excepcionalmente secos serían menores porque el dosel de los bosques estaría desnudo la mayor parte del tiempo. Con la creciente precipitación invernal aumentaría tanto el número de nevadas como las ocasiones en que la nieve interceptada podría devolverse a la atmósfera, y la interceptación y la evaporación llegarían al máximo durante los inviernos en que se mezclan uniformemente las frecuentes nevadas ligeras con los periodos de tiempo claro. Más allá de este punto, la mayor precipitación de invierno signi-

ficaría nevadas más fuertes y prolongadas con periodos menores y más pequeños de tiempo claro entre ellos, hasta llegar al extremo máximo de un "invierno de nieve azul". Si las nevadas ocurrieran constantemente durante todo el invierno, habría poca pérdida de nieve por evaporación o sublimación, y la intercepción sólo comprendería una pequeña parte del total de las nevadas, porque los árboles no pueden sostener más allá de cierto volumen, y sin tiempo claro y seco sólo habría un pequeño volumen de evaporación.

Sin embargo, el efecto de los bosques en la disminución de la caída de nieve a la tierra no es su única influencia en los suministros de aguas de la nieve. Los bosques afectan también los mantos de nieve que quedan bajo su dosel y pueden tener una influencia decisiva sobre su fusión en los periodos calientes de deshielo durante el invierno y la primavera.

La evaporación ocurre tanto en la superficie del manto de nieve como en la que se encuentra alojada en el dosel de los árboles, aunque en proporción más lenta. Aunque el bosque facilita las pérdidas de evaporación de la nieve depositada en su dosel, protege la que se encuentra en la tierra y hace que las pérdidas por evaporación sean menores que las que ocurren en la superficie de la nieve de las áreas abiertas. La nieve queda sombreada y las temperaturas del aire en su superficie son más bajas que en las áreas abiertas semejantes. Decrece el movimiento del aire sobre el manto de nieve y hay menos tendencia a que la nieve se agite y se transporte en montones, y esto significa también menos evaporación o sublimación.

No se han desarrollado todavía métodos precisos para la medición de la evaporación de las nieves y sólo hay disponibles cálculos sobre los efectos de los bosques. Las mediciones llevadas a cabo en el subsuelo duro en la región del Lago Tahoe de Nevada, de noviembre a marzo, indican que la cantidad total de agua que se evapora de la nieve en una pradera descubierta es de 8.5 pulgadas; en un bosque de pinos semiabierto, es de 4.8 pulgadas, y en un pequeño claro en un bosque de abetos es de 2.4 pulgadas. Se calculó que la evaporación de invierno y primavera de la nieve que se encontraba bajo un bosque de pinos vírgenes en Colorado fue de 0.8 pulgadas, calculándose que se perdieron 2.0 pulgadas de las áreas boscosas cuando se había cortado toda la madera comercial madura. Así, la combinación de lógica y estas escasas cifras, dejan poco lugar a duda sobre la disminución causada por los bosques en la evaporación de los mantos de nieve.

Los bosques disminuyen también la fusión de las nieves al influenciar el clima local. Esta influencia es la misma que ejercen sobre la evaporación de los mantos de nieve: Los bosques sombrean la nieve y recogen la luz solar convirtiéndola en radiaciones de onda larga o calor. Gran parte del calor radiado vuelve a la atmósfera, y sólo llega una parte al manto de nieve. Probablemente los bosques retrasan también la fusión de la nieve al hacer más lento el movimiento del aire. La condensación de la humedad del aire sobre la superficie de la nieve libera calor que contribuye a la fusión de ésta, y el aire caliente en sí produce cierta parte de esa fusión. Al disminuir el movimiento del aire caliente y húmedo, el bosque ayuda a disminuir la proporción de fusión de la nieve.

La nieve dura más en los bosques que en las áreas abiertas adyacentes. J. E. Church encontró que en Nevada los mantos de nieve pierden 0.33 de pulgada de agua diariamente cuando están al descubierto, y sólo 0.20 a 0.23 de pulgada diaria en áreas densamente arboladas. En las Montañas Cascade, de Washington, A. A. Griffin encontró nieve en un espeso bosque 42 días después de que ésta había desaparecido de las áreas abiertas. Se encontraron los últimos restos de nieve en los pequeños claros del bosque en donde las acumulaciones de nieve habían sido mayores y la sombra era completa.

En los experimentos efectuados en los bosques de pinos de poste en el centro de Colorado, se encontró que las proporciones de fusión de la nieve eran más rápidas en plantíos con abundantes

cortas que en los bosques vírgenes. Estas proporciones de fusión más rápidas quedaban compensadas con los mayores mantos iniciales de nieve, así que todas las parcelas experimentales quedaron desnudas de nieve aproximadamente en la misma fecha.

Por lo tanto, la información disponible sobre las proporciones de acumulación, evaporación y fusión de las nieves, muestran que el efecto de los bosques en los suministros de aguas de las nieves no es muy sencillo. Los bosques disminuyen la cantidad de nieve que cae en la tierra debajo de su dosel. Por otra parte, disminuyen la proporción de evaporación y sublimación de los mantos de nieve. Al retrasar la fusión de las nieves, los bosques pueden hacer que cierta cantidad de ella permanezca hasta fines de la primavera, y esto da por resultado una mayor duración del flujo de las corrientes debido a la fusión de las nieves; pero favorece también las mayores pérdidas por evaporación al hacer que la nieve y el agua que proviene de ella queden expuestas al aire por más tiempo.

EN NUESTRO PAÍS, un solo estudio ha demostrado en forma precisa el efecto total de los bosques en los rendimientos de las aguas de nieve al flujo de las corrientes. Durante 8 años se compararon los flujos de las corrientes de dos pequeñas vertientes cerca de Wagon Wheel Gap, en Colorado. Ambas vertientes estaban cubiertas de bosques y no se tocaron durante ese tiempo. Sin embargo, la cobertura forestal era ligera en ambas áreas y sólo aproximadamente la mitad de cada una de ellas estaba cubierta con árboles coníferos, conteniendo el resto álamos o hierbas, de tal modo que los efectos de la cobertura forestal en las proporciones de acumulación, pérdidas y fusión de las nieves, cuando mucho, podrían ser moderados.

Después del primer periodo de comparación se cortaron todos los árboles de una vertiente y se continuó con la comparación por otros 7 años más. Como resultado, el promedio anual del flujo de la corriente de la vertiente tratada aumentó 17% durante ese periodo de 7 años. El aumento fue mayor en los años que siguieron inmediatamente después de la corta, disminyendo a medida que volvían a crecer los árboles, pero existiendo todavía al final del periodo. Casi todos los meses del año mostraron un aumento en el flujo de las corrientes, pero la mayor diferencia ocurrió durante el periodo de primavera de fusión de las nieves. Indudablemente gran parte de esto se debió a la eliminación de las pérdidas por intercepción de la nieve en las copas de los árboles, que compensó grandemente los aumentos en la evaporación de la superficie de los mantos de nieve causada por la remoción de la cobertura forestal.

Otros efectos de la remoción de los árboles fueron el aumento aproximado de 50% en el flujo máximo de la corriente, y su adelanto a una fecha aproximadamente 3 días antes de la fecha normal de descarga máxima antes de iniciar el tratamiento. El flujo más rápido del agua de fusión de las nieves y los disturbios de la tierra causados por las operaciones madereras y el incendio de la maleza, dieron por resultado una erosión un poco mayor en el área cortada.

El experimento de Wagon Wheel Gap demuestra la forma en que la destrucción completa, pero temporal, de la cobertura forestal afecta las aguas de nieve, y representa un tipo de tratamiento de bosques que no sería prudente aplicar en la mayoría de las vertientes hidráulicas. En la de Wagon Wheel Gap los daños fueron mínimos, porque las tierras de la vertiente son porosas y dejaron que las aguas de nieve y de las lluvias penetraran libremente.

De acuerdo con lo anterior, el desbordamiento superficial y la erosión consiguiente de la tierra fueron menores aun después de la destrucción del manto forestal protector. En áreas con tierras menos permeables o climas menos benignos, podría haberse causado una erosión muy grave con los perjuicios consiguientes a la calidad del agua. En esa demostración se sacrificaron también los valores comerciales de los bosques. Aun si la vertiente se hubiera mantenido desnuda a fin de conservar los aumentos máximos en el flujo de las corrientes, la producción de madera habría quedado eliminada en forma permanente. Por lo tanto, ese es-

tudio comparó tanto los efectos benéficos como los perjudiciales de la total remoción de la cobertura forestal; pero dejó sin precisar los efectos de las prácticas de manejo de los bosques destinadas a favorecer la producción de madera, así como la protección y los rendimientos de agua. Aun desde el solo punto de vista del rendimiento de agua, el máximo de beneficios y el mínimo de daños dependerán del almacenamiento adecuado de los depósitos que se encuentran corriente abajo de la vertiente tratada.

El objeto de los estudios que se están llevando a cabo actualmente es el aumento de los suministros de las aguas de nieve, sin dejar de favorecer la producción de madera y la protección de la tierra. Otra meta conjunta consiste en averiguar la mejor forma posible de extender ese aumento de agua en los meses de verano en los que hay gran demanda de ella. En una vertiente que se encuentra en las montañas de Colorado se está recolectando en fajas la madera de los pinos de poste y de los pinabetes, y se han preparado en toda el área extensas fajas de 66 hasta 400 pies de ancho. La dirección de las fajas varía de Norte a Sur y de Este a Oeste, tanto en los declives moderados como en los escarpados. Se está cortando toda la madera de las fajas alternadas empleando un intrincado sistema de caminos madereros.

Se espera que el estudio revele el aumento en rendimiento de las aguas de nieve causado por la recolección de la mitad de la madera de una vertiente, así como la forma en que la dirección y el ancho de las bandas afecta la acumulación y fusión de las nieves. Cuando la orientación de las fajas produce el sombreado de la tierra talada en las horas calientes del día, las proporciones de fusión, si ocurre, pueden ser un poco mayores que en las partes intactas, y puede encontrarse también que la nieve se moverá de las fajas taladas más anchas a las fajas intactas adyacentes, en donde quedará protegida contra la fusión y las rápidas pérdidas por evaporación. El patrón y la extensión de las cortas aplicadas en este experimento son prácticos desde el punto de vista de la producción de madera, así como de la protección de la tierra. En esa forma, a los beneficios resultantes de los suministros de agua se añadirán los demás valores forestales y no los reemplazarán. En algunas regiones en donde existen necesidades especiales de aumentar los suministros de agua del suelo, puede ser aconsejable la conversión de bosques de coníferas a bosques de maderas duras. Los valores comerciales resultantes de la conversión de bosques de maderas duras a coníferas pueden quedar más que compensados en otras áreas con la disminución de los rendimientos de agua. Es cierto que puede esperarse que un bosque de maderas duras intercepte menos nieve que uno de coníferas. Sin embargo, habría que averiguar si el bosque de maderas duras puede usar más agua durante el verano. Las profundidades de la tierra y de las raíces tienen un papel importante en el problema y habría que estudiar el caso de cada vertiente y las especies de maderas duras que fueran a emplearse antes de que pudieran calcularse los beneficios posibles. Estos son problemas de magnitud creciente en el nordeste de los Estados Unidos de Norteamérica. Prácticamente no hay datos de investigación disponibles que indiquen cuáles pueden ser las mejores prácticas de manejo de las vertientes hidráulicas cubiertas de bosques desde ambos puntos de vista de producción de agua y de madera.

La recolección de madera de acuerdo con patrones determinados, la conversión de bosques de árboles siempre verdes a maderas duras y el aclaramiento de los plantíos tiernos demasiado densos, son algunas de las medidas que pueden aumentar los suministros de agua de las nieves mediante el manejo de los bosques. Las investigaciones han demostrado que los bosques aceptan los suministros de agua de las nieves en forma importante, aunque compleja. Ahora necesitamos averiguar si se pueden obtener mayores rendimientos sin los efectos perjudiciales de una fusión excesivamente rápida y temprana de las nieves. Necesitamos saber mucho más sobre la manera de combinar el manejo para obtener suministros adicionales de agua con el necesario para obtener un buen crecimiento de madera

y dar a la tierra una protección adecuada. Esas investigaciones no pueden producir reglas generales, pero esperamos que puedan desarrollarse principios generales que pueda aplicar cualquier propietario de tierra para determinar los mejores procedimientos para su propia vertiente. La tierra, la topografía, el clima y las características de los bosques tienen su parte relativa y deben tenerse en cuenta en los planes destinados a obtener los máximos beneficios de nuestros bosques y campos de nieve.

B. C. GOODELL *es guardia forestal de la Estación Experimental de Bosques y Praderas de las Montañas Rocallosas del Servicio Forestal y dirigente del Centro de Investigaciones de Fraser en Fort Collins, Colorado, habiéndose graduado en la Universidad de Massachusetts, en la Escuela Forestal de la Universidad de Harvard y en la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Johns Hopkins.*

H. G. WILM *es Decano Asociado de la Universidad del Estado en el Colegio Forestal de New York, en Syracuse, habiendo estado anteriormente, durante 22 años, con el Servicio Forestal. El doctor Wilm se graduó en el Colegio de Colorado y en la Universidad de Cornell.*

El cuidado de los bosques para controlar la erosión de la tierra

E. G. Dunford y Sidney Weitzman

LOS BOSQUES que no se han tocado son notablemente resistentes al inexorable desgaste de la superficie de la tierra. Las proporciones de desarrollo de la tierra en ellos exceden generalmente del lento proceso de agotamiento, pero las proporciones de la erosión aumentan inevitablemente como consecuencia de las actividades del hombre y de la naturaleza. La forma en que se lleva a cabo la protección de las vertientes hidráulicas determina el incremento y la aceleración de esas proporciones.

El cuidado de una vertiente hidráulica tiene que ver con todos los recursos de un desagüe, pero su función principal consiste en utilizarlos en tal forma que se obtengan las máximas cantidades de agua clara y utilizable. El encargado del cuidado de una vertiente hidráulica no necesita ser un especialista con un solo propósito, sino que puede ser el superintendente de un campo maderero, un agricultor, un dueño de bosques o un guardia forestal. Es indispensable, sin embargo, que su plan de manejo incluya el control de la erosión y que piense en el agua y en la tierra como recursos tan valiosos como los árboles y los forrajes.

No es tarea fácil conservar intacta la tierra en una área de bosques al mismo tiempo que se recolecta la madera y que se utilizan los forrajes, y sin embargo, esa es la tarea a que tiene que enfrentarse el encargado de una vertiente. El cerrar un desagüe para disminuir la erosión es una solución que sólo tiene aplicaciones limitadas, y la doctrina más práctica consiste en la máxima utilización de los productos de los bosques dentro de las limitaciones impuestas por un control sensato de la erosión.

La obligación del encargado de una vertiente hidráulica consiste en saber cuáles son las limitaciones, qué métodos se requieren para solucionarlas, dónde deben aplicarse y cuáles son las causas básicas de la erosión.

La causa principal es el agua que se mueve sobre la superficie de la tierra. A su vez, la gravedad de la erosión se determina por la cantidad de agua que se mueve, la rapidez con que se desplaza y que tan fácilmente puede desprenderse y arrastrarse la tierra. El control, por otra parte, depende de la rapidez con que el agua superficial penetre en la tierra, que tan eficazmente puede disminuirse esa velocidad por medio de obstrucciones, y cómo pueden protegerse mejor las partículas de tierra por medio de la vegetación. Un bosque intacto es el mejor efecto de los controles que funcionan más eficazmente.

En un bosque intacto el agua de la precipitación se dispersa en el aire o se dirige a los arroyos y almacenamientos subterráneos en forma fácil y sin causar perjuicios. No hay desbordamiento su-

perficial, a excepción de aquellos periodos de lluvias prolongadas y abundantes.

La vegetación y la tierra son principalmente responsables de esa estabilidad. El control vegetativo comienza con el dosel protector de árboles y maleza. Una parte de la nieve y de las lluvias se recoge en las copas de los árboles y ni siquiera llega al suelo. La vegetación puede también disminuir la fuerza de la lluvia, de modo que las gotas que lleguen al suelo de los bosques sean menos capaces de arrancar las partículas de tierra y arrastrarlas con ellas. Los desechos y el humus constituyen barreras adicionales contra el flujo del agua superficial y ayudan a la tierra aumentando su porosidad. El agua se filtra fácilmente en una tierra de bosque sin acumularse en la superficie del subsuelo.

El encargado de una vertiente hidráulica trata de mantener esta clase de control cuando se interfiere en las tierras forestales con operaciones madereras, construcción de caminos y pastos. En las tierras forestales ya agotadas por la erosión, trata de igualar la estabilidad de los bosques intactos empleando medidas que permitan que penetre más agua a la tierra y disminuyan la velocidad y cantidad del desbordamiento.

Su trabajo se complica, sin embargo, por muchas condiciones que influencian la erosión. Algunas áreas forestales permanecen relativamente estables bajo ciertos tratamientos. En otras, la erosión es más fácil de iniciar y más difícil de detener, y esa diferencia de susceptibilidad puede atribuirse generalmente a variaciones de la tierra, clima y topografía.

Las tierras forestales nunca tienen características uniformes. Las variedades gruesas y porosas de las regiones glaciales de la Nueva Inglaterra, los estados de los Lagos y el noroeste del Pacífico, pueden absorber grandes cantidades de lluvia, y las mismas cualidades caracterizan a los declives cubiertos de piedra pómez en partes de la Sierra Nevada y de las Montañas Cascade. Por otra parte, las arcillas de contextura más pesada derivadas de las rocas sedimentarias, tales como las que se encuentran al norte de los Montes Apalaches en el sudoeste de Colorado, se desgastan fácilmente. Las tierras de marga adyacentes al río Mississippi son altamente susceptibles a la erosión cuando se remueve la cobertura protectora de los bosques, porque son un producto inestable de materiales arrastrados por el viento.

Las tierras superficiales que descansan sobre declives impermeables de roca se resbalarán más fácilmente que las que están profundamente desgastadas. Tienen también un espacio limitado para las raíces y una capacidad de almacenamiento de agua relativamente menor. Las tierras de este tipo a menudo son estériles y quedan sujetas a la erosión, porque la vegetación protectora sufre por la falta de substancias nutritivas y de humedad.

Las lluvias intensas producen erosión en las regiones donde las tormentas son frecuentes. Son comunes, por ejemplo, en el frente montañoso del Colorado, en el flanco oriental de las Montañas Rocallosas y en el frente de las Montañas Wastch en Utah, zonas en las que el total de humedad disponible para la protección del crecimiento de las plantas es relativamente bajo. Las tierras de los sitios intactos son capaces generalmente de absorber toda el agua de las lluvias tan rápidamente como cae; pero el margen de seguridad es muy escaso, y cuando ocurren lluvias torrenciales la más ligera disminución en la porosidad de la tierra puede causar desbordamientos y erosiones.

Las mismas lluvias abundantes e intensas causarán una disminución de la porosidad de la tierra si la cobertura vegetativa no es suficiente para aminorar la fuerza de las gotas de lluvia.

La estación y la clase de precipitación, nieves o lluvias, son también importantes. Por ejemplo, la precipitación está bastante bien distribuida durante todo el año en el este de los Estados Unidos de Norteamérica. En invierno ocurren muchas fuertes tormentas cuando los árboles están desnudos y las tierras se encuentran saturadas y esas condiciones alientan la erosión. En contraste, en la parte alta de las Montañas Rocallosas más de las dos terceras partes de la precipitación consisten de nieve, y la fusión gradual en primavera restablece el suministro estacional de la humedad en un pro-

fundo depósito natural de tierra y de rocas fracturadas que se encuentran debajo de ella. Rara vez excede la proporción de la fusión de las nieves a la capacidad de la tierra y de las rocas para absorberla.

En regiones con inviernos abiertos la congelación constituye otros riesgos. Algunos tipos de ella obstruyen el movimiento de la humedad hacia abajo durante el deshielo de primavera, lo que ocasiona el desbordamiento. Sin embargo, si la cobertura forestal está intacta, es menos probable que la congelación produzca una barrera impermeable, y la tierra conserva su capacidad de absorción de agua. En lugares como Arizona, South Carolina y el este de Oregon, ocurre una congelación de estalactitas en la superficie de las tierras que no están protegidas con una buena cobertura forestal, creando una capa esponjosa que arrastran las siguientes lluvias. Una muestra tomada en el área de Piedmont en South Carolina mostró que se arrastraban 18 pulgadas de tierra por cada 100 pies cuadrados en un ciclo diario de congelación y deshielo.

La topografía es el tercer factor que influencia la susceptibilidad a la erosión.

Las tierras forestales, especialmente al oeste del río Mississippi, quedan confinadas ordinariamente a los terrenos montañosos. Los declives más suaves cubiertos de árboles de las regiones occidentales han sido talados en su mayoría y se están extendiendo más profundamente las operaciones madereras en los declives escarpados, por lo que es obvio que si las demás condiciones permanecen iguales, esos declives escarpados se desgastarán más fácilmente.

La dirección en que se encuentran los declives es también importante. Las laderas secas de las colinas que ven al Sur son más susceptibles de desgastarse que las laderas húmedas que ven al Norte, especialmente en los climas subhúmedos, porque la vegetación encuentra condiciones de crecimiento más difíciles y, por lo tanto, la recuperación de las interferencias es ordinariamente más lenta.

En la mayoría de las áreas cubiertas de bosques, ya sea que se trate de plantíos vírgenes o de tierras taladas y reforestadas, la naturaleza tiende a equilibrar esos factores variables de tal manera que se obtenga un control máximo de la tierra. En algunos casos, sin embargo, el equilibrio es bastante delicado y la falta de reconocimiento de las áreas precarias ha producido daños graves.

Muchos de nuestros bosques tienen caminos que los atraviesan y han sido talados y explotados varias veces. Se han pastado excesivamente grandes áreas de bosques y muchos acres de tierras forestales se han incendiado repetidas veces.



Los caminos son necesarios para la utilización y manejo de los bosques y tierras de praderas, y sin embargo constituyen una fuente principal de erosión, ya que pueden dejar al descubierto la tierra mineral desnuda y que sus superficies impiden la absorción de agua. A medida que el tránsito aumenta, la base de los caminos se hace más compacta y la infiltración se hace más lenta hasta volverse imperceptible. El agua corre sobre la superficie y arrastra grandes cantidades de materiales desgastados. La destrucción de las laderas de las colinas para construir un camino crea nuevas vías de agua al dejar al descubierto los canales naturales subterráneos, y en lugar de fluir dentro de la tierra y a través de ella en proporción normal, el agua se concentra en zanjas y corre sin control hasta el arroyo más próximo.

La construcción de caminos a lo largo de los canales de los arroyos es una práctica especialmente perjudicial. En los taludes escarpados la tierra se arrastra ge-

neralmente hacia abajo y llega hasta el arroyo mismo, si está lo suficientemente cerca. A veces los efectos destructores no se hacen evidentes sino hasta que el flujo de la corriente crece lo suficiente para desgastar la base del material arrastrado, haciendo que se derrumbe su parte superior. Esos deslizamientos son siempre peligrosos cuando se construyen los caminos en tierras inestables, y con frecuencia las áreas de deslizamiento continúan derrumbándose mucho tiempo después de que haya ocurrido la interferencia original.

Las tendencias actuales de la construcción de caminos introducen la posibilidad de peligros adicionales de la erosión. Las necesidades de caminos más anchos y de un mejor alineamiento significan que tienen que moverse mayores cantidades de tierra, especialmente en terreno escarpado.

Además, la densidad del diseño de los caminos aumentará a medida que se llevan a cabo prácticas de utilización de la madera más intensas, de cultivo de los bosques y de protección contra incendio. En la región de abetos Douglas, por ejemplo, las necesidades actuales para el transporte de troncos y para caminos de protección son aproximadamente de una milla por cada milla cuadrada de área forestal. Eventualmente esas áreas pueden requerir 4 millas o más de caminos por cada milla cuadrada, aumentando así las posibilidades de erosión.

La explotación forestal es una de las actividades más comunes en nuestros bosques y que causa generalmente un volumen de erosión considerable. Comprende dos operaciones principales: La corta de los árboles y la remoción de los troncos dejando que resbalen.

La mayoría de los observadores están de acuerdo en que la erosión que sigue a las explotaciones forestales se causa primordialmente por los disturbios originados por ese resbalamiento. El arrastre de los troncos sobre la tierra por medio de caballos o tractores tienen el mismo efecto que la construcción de caminos. La tierra desnuda se maltrata y se comprime con los repetidos viajes, que crean prontamente una senda en forma de artesa. Ordinariamente las sendas de resbalamiento se extienden hacia arriba y hacia abajo de las colinas, desembocando en un punto de descarga, y forman canales que son ideales para los flujos concentrados de proporciones perjudiciales.

El deslizamiento se hace a veces en los lechos de los arroyos, práctica que daña los lados y crea un problema de larga duración. El arrastrar los troncos a través de un arroyo destruye la vegetación protectora de las orillas y deja montones de desechos. Las acumulaciones obstruyen el flujo de las corrientes de agua, hasta que una creciente arrastre las grandes masas de desperdicio corriente abajo destruyendo las orillas expuestas a lo largo del canal. El proceso se repite hasta que una ancha hondonada reemplaza el lecho original del arroyo.

Las operaciones madereras pueden ser más destructuras en aquellas emergencias que requieren la remoción de árboles muertos. La remoción en gran escala que sigue a la destrucción causada por las enfermedades, los ataques de los insectos o el fuego, ha producido cantidades anormales de erosión. Las operaciones de rescate después de un incendio forestal son especialmente graves, porque la tierra queda desprovista de su capa protectora de humus. Se suma a este riesgo la necesidad de apresurar la remoción de árboles muertos antes de que entren en descomposición, olvidándose con frecuencia las precauciones necesarias para evitar pérdidas de tierra en la prisa de rescatar el volumen máximo de madera exenta de descomposición.

Los incendios forestales preparan la escena para las destructoras operaciones de salvamento y en sí mismos producen erosión. Los incendios queman la vegetación protectora y destruyen la capacidad de retención de agua del manto de humus, haciendo que sigan generalmente la erosión y el desbordamiento.

La gravedad de la erosión que sigue a un incendio es proporcional a la cantidad de vegetación y materia orgánica removidas, a lo escarpado de los declives incendiados y al tipo de precipitación que siga. Los incendios de tierras boscosas no aumentan grandemente la erosión en tierras arenosas que se encuentren en las áreas levemente onduladas o planas de nuestros bosques del Sur; pero el fuego

en los escarpados declives cubiertos de chaparrales ha causado efectos sumamente perjudiciales cuando después de ellos han ocurrido lluvias abundantes. En las Montañas de San Gabriel, en California, los flujos de inundación aumentaron de 20 y 60 pies cúbicos por segundo por milla cuadrada en las vertientes hidráulicas, hasta aproximadamente 1,000 pies cúbicos por segundo por milla cuadrada en una vertiente incendiada. Esos grandes flujos arrastran considerables cantidades de grava y piedras hacia los valles bajos.

EL PASTADO PUEDE crear un riesgo de erosión adicional en tierras forestales que suministran forrajes para los animales domésticos y la fauna. El pastado en exceso contribuye al desbordamiento superficial disminuyendo la densidad de las plantas y aumentando la consolidación de la tierra producida por las pezuñas de los animales. Las hierbas comestibles y los arbustos pierden su vigor por el continuo ramoneo, la productividad se reduce, las copas y las raíces se destruyen progresivamente y disminuyen los desechos valiosos. La cobertura original se reemplaza finalmente con plantas que son menos eficaces para detener la erosión, y el continuo pastado eventualmente deja al descubierto peligrosas cantidades de tierra desnuda.

Los demás usos incidentales, como la extracción de minerales en fajas, los derechos de vía para líneas de energía, la construcción, el desarrollo de campamentos y los claros para áreas de esquíes, causan disturbios en los bosques y todos ellos facilitan el camino a la erosión, porque disminuyen la cubierta protectora de vegetación y exponen la tierra al impacto directo de las lluvias y del desbordamiento.

PUEDE CONTROLARSE la erosión producida por los caminos si se cambian algunas prácticas empleadas actualmente, para lo cual hacemos las siguientes sugestiones:

1ª Planear el sistema de caminos con anticipación a la construcción. Esta es una práctica que disminuye el área de los disturbios en la tierra y reduce también los costos de construcción, mantenimiento y acarreo. En el Bosque Experimental de Frenow, en los Montes Apalaches, la extensión de los caminos se redujo entre 40 y 75%, mediante el cuidadoso planeamiento anticipado. Se obtuvieron ahorros semejantes en el Bosque Experimental H. J. Andrews, en las Montañas Cascade, de Oregon. En ambos sitios fue también posible aprovecharse de la topografía para evitar áreas inestables y disminuir los disturbios de la tierra en los cortes y rellenos.



Un instrumento potencialmente eficaz de la planeación es la clasificación de las tierras. La localización del sistema de caminos y las medidas para evitar la erosión deben adaptarse a la estabilidad inherente del área. Hasta que sepamos más sobre las características físicas de las tierras de los bosques y su reacción a los disturbios, tendremos que depender de reglas prácticas muy generalizadas para guiarnos en la construcción de caminos.

2ª Aprender a reconocer y evitar los sitios difíciles. El conocimiento de las características de la tierra y de las rocas es muy importante en la localización de caminos. Evítense los resumideros, los mantos de arcilla y las rocas muy escarpadas en las que pueden ocurrir deslizamientos.

3ª Utilizar pendientes ligeras. El Servicio Forestal prefiere un 7% como máximo general, pero pueden hacerse excepciones cuando sean necesarios declives más acentuados para aprovechar una topografía favorable o evitar cortes y rellenos excesivos.

4ª Suministrar un desagüe adecuado.

Los caminos son orígenes y propagadores de aguas lodosas. Los arroyos que cruzan debajo de ellos no deben contaminarse con desagües superficiales o aguas de zanjas. Las alcantarillas, canales abiertos y depresiones para el manejo de las aguas superficiales deben espaciarse a intervalos frecuentes y localizarse de manera que desagüen en tierras vegetales en las que puede filtrarse el lodo. Deben ser adecuados para aceptar los mayores flujos que se esperen, teniendo en cuenta el incremento en los rendimientos de agua que resultará de las operaciones madereras. Con frecuencia es deseable "ondular" los declives con depresiones y rellenos alternados para evitar que el agua superficial se mueva a grandes distancias en los surcos producidos por las ruedas.

5ª No construir caminos en los canales de los arroyos o cerca de ellos. En terreno montañoso, el lecho de un arroyo o los declives de sus lados pueden parecer atractivos, pero las dificultades comienzan cuando se construye el camino en ese sitio. El deslizamiento y transporte subsecuente causan disturbios en el canal, que se convierte en una grave fuente de erosión mucho tiempo después de que hayan terminado las operaciones madereras. Constrúyase en los bancos y crestones hasta donde sea posible. El hacer un camino en el fondo de las hondonadas u otras depresiones rara vez es recomendable. Durante el deshielo de primavera y los periodos de tormentas, el desagüe superficial se acumulará en la superficie del camino y adquirirá una velocidad y volumen suficientes para iniciar su destrucción. Muchas hondonadas profundas han comenzado en esta forma.

6ª Construir con el mínimo movimiento de tierra. No son aconsejables los cortes profundos ni los extensos rellenos. Las bases de los caminos deben conservarse tan angostas como lo permitan las condiciones de seguridad. Trátese de balancear el volumen de las tierras en los cortes o rellenos. Si hay que desperdiciar tierra, nunca debe vaciarse cerca de los arroyos. Constrúyase durante el tiempo seco.

7ª El mantenimiento es muy importante. Aunque un camino esté en servicio, el mantenimiento es necesario para conservarlo en buen estado de reparación y para mantener libres los desagües que lo cruzan, a fin de que las aguas puedan tener salida. No debe permitirse que el material de relleno y los desechos de las operaciones madereras obstruyan los extremos superiores de las alcantarillas. Inmediatamente después de la terminación de las operaciones madereras, los caminos temporales necesitan "descansar" y dejar que se recuperen. Esto hace necesario el cuidadoso arreglo de las desviaciones de agua, canales cruzados de desagüe y otros medios semejantes. La siembra de hierbas ayudará a estabilizar los cortes y rellenos recientes. Si el camino ha sido construido debidamente y se desagua en forma adecuada, sólo se necesitarán inspecciones periódicas y una limpieza de las zanjas de desviación para mantenerlo abierto y en servicio para las siguientes operaciones. Los caminos forestales permanentes deben tener superficies de roca y conformarse con una corona central que facilite el desagüe de la superficie. Durante las tormentas conviene patrullar frecuentemente los caminos para mantener abiertos los desagües.

PUEDE DISMINUIRSE la erosión causada por las operaciones madereras mejorando las prácticas de deslizamiento y dando después atención a los sitios difíciles. Los métodos de explotación maderera y el equipo que se use tienen también una enorme importancia en la calidad del agua. Damos a continuación las siguientes sugestiones:

1ª No almacenar troncos a lo largo de los canales de los arroyos. Localícense los sitios de descarga de manera que los troncos se arrastren lejos de los arroyos y no en ellos o a través de ellos. Debe removerse de los arroyos el desecho de las operaciones madereras para evitar obstrucciones y desviaciones del flujo del agua.

2ª Mantener las sendas de deslizamiento bien desaguadas, desviando el agua hacia las áreas en donde pueda filtrarse el sedimento. Es sumamente importante instalar barreras hidráulicas y canales de desviación después de que terminen las operaciones madereras. Se necesitan frecuentes inspecciones durante la temporada de lluvias para cerciorarse de que las

válvulas de retención de los desagües estén controlando el flujo superficial.

3ª No emplear tractores en declives escarpados o tierra húmeda. La operación de los tractores debe limitarse a terreno menos escarpado durante las estaciones secas del año. Como guía aproximada, los declives de 30% se consideran el máximo deseable para el funcionamiento de tractores en muchos tipos de tierra. Se considera que las tierras están demasiado húmedas cuando contienen tanta agua que puedan exprimirse con la mano.

4ª Adaptar el equipo maderero a las condiciones de la localidad. En muchas ventas de madera hechas por el Servicio Forestal se especifica el arrastre de los troncos por medio de cables elevados en los declives escarpados.

Los tractores son más eficientes en localidades planas o ligeramente onduladas. Se usan frecuentemente con un aditamento maderero de carretilla, soporte o arco para facilitar el resbalamiento levantando la parte delantera de los troncos. Esta práctica también beneficia a la tierra al disminuir la cantidad de rozamiento. Son también eficaces para disminuir los disturbios de la tierra los aditamentos de malacates y cables, ya que muchos troncos pueden arrastrarse sin que el tractor llegue directamente a ellos. Arrastrando los troncos enteros se obtienen las ventajas adicionales de aminorar los viajes y disminuir proporcionalmente la erosión.

Cuando los declives son demasiado escarpados para permitir el funcionamiento práctico de los tractores, los madereros de la costa del Oeste emplean sistemas de transporte y almacenamiento por medio de cables elevados. Los troncos se mueven de los sitios de corta a los de almacenamiento por medio de cables con poleas colocados en el extremo de un árbol de sostén, o se mueven por medio de un cable elevado colocado entre dos árboles de sostén.

A medida que las operaciones madereras avanzan en terreno más abrupto, se vuelven más serios los problemas de mantenimiento y estabilización. Probablemente muchas de las zonas más escarpadas de las Montañas Rocallosas, Sierra Nevada y Montañas Cascade no deberían explotarse con los métodos usados actualmente. La grúa elevada Wyssen, desarrollada en Suiza para explotaciones madereras montañosas, puede ser muy útil en esas áreas. Ese aparato está diseñado para mantener los troncos suspendidos en el aire durante la mayor parte de su transportación desde los sitios de corta a los de carga, y los senderos de transportación pueden disminuirse considerablemente, porque una área relativamente grande queda accesible de un solo punto.

5ª Sembrar las áreas de erosión para obtener una cobertura rápida. Las sendas de deslizamiento y los sitios de descarga en tierras inestables deben sembrarse con hierbas y legumbres en donde la reproducción natural es lenta. La reproducción de los árboles tendrá mejor oportunidad de ocurrir en esos sitios si se siembran hierbas que no formen terrones. No debe permitirse que se concentre el ganado en las áreas resembradas, porque el hollado puede nulificar los efectos de control de la erosión de las hierbas. Si el control de la erosión requiere que no se permita el pastado tanto de la fauna como del ganado doméstico, no hay que sembrar hierbas apetitosas para los animales.

La prevención de incendios debe intensificarse en escala nacional. Los incendios sin control estorban cualquier sistema integrado de manejo. Todos los esfuerzos que se hagan para controlar incendios redundarán en beneficio del control de la erosión, así como en la prevención del desperdicio y destrucción de productos forestales utilizables.

Bajo ciertas condiciones puede utilizarse el fuego como instrumento de manejo de los bosques. Sin embargo, siempre se remueve una parte de la cobertura protectora, y las posibilidades de erosión aumentan en forma significativa en las áreas de declives. Puede mantenerse el fuego bajo control si se adoptan las siguientes precauciones:

1ª Los incedios controlados deben vigilarse siempre con todo cuidado por guardias forestales competentes. Los mismos incendios que sean aconsejables pueden impedir la recuperación vegetativa adecuada y ordinariamente producirán una

disminución progresiva de la capacidad de infiltración.

2ª No se inicien incendios en la estación de sequía. La quema de desechos que se practica en el Oeste para disminuir los riesgos de incendio debe iniciarse después de que comiencen las lluvias de otoño.

3ª Los resultados económicos derivados de la explotación de la madera incendiada deben compararse con los perjuicios causados por la pérdida adicional de tierra. Si hay necesidad de rescatar esa madera, deben intensificarse las precauciones contra la erosión y no abandonarse.

El pastado, al igual que las cortas de madera y el fuego, sólo puede considerarse como práctica aceptable en las vertientes hidráulicas si pueden evitarse los disturbios de la tierra. En el Este y medio Oeste se permite un pastado considerable de las tierras boscosas que consisten principalmente de especies de maderas duras. El pastado en esas zonas no beneficia ni a los animales ni a los bosques, y es una práctica perjudicial desde el punto de vista de la erosión. En el Sur y en el Oeste es muy común el pastado en las áreas forestales, en los bosques de pinos cultivados en claros y en los parques y praderas que se encuentran mezclados. En esas regiones deben aplicarse los siguientes principios:

1º El forraje debe pastarse en forma moderada. Las manadas, los vallados y el uso de abrevaderos y salitreras bien distribuidos ayudará a evitar las concentraciones de ganado y los excesos localizados del pastado. Debe determinarse la capacidad de resistencia de los forrajes y ajustar de acuerdo con ella el tamaño de las manadas. Puede emplearse la altura del rastrojo como medida para decidir si queda la suficiente cobertura de hierba para proporcionar forrajes el siguiente año, así como para la protección de la tierra.

En un experimento efectuado en una pradera de pinos ponderosa y hierbas de manojo en Colorado, el pastado moderado sólo produjo un aumento inapreciable en la erosión; pero el excesivo pastado causó pérdidas considerables de tierra. El pastado moderado en esa área deja, aproximadamente, 4 pulgadas de rastrojo de festuca de Arizona, una de las principales especies forrajeras. Si la altura normal del rastrojo al terminar la estación de pastos es de 2 pulgadas, o menos, se considera que los terrenos han sido pastados en exceso.

Se han determinado las cantidades de cobertura de la tierra que se necesitan para evitar la erosión en zonas de álamos en el norte de Utah. La pérdida de tierra parece no ser de importancia cuando corre sobre la superficie de la tierra el 5%, o menos, de las lluvias producidas por las tormentas de verano. Para conservar el desbordamiento superficial bajo ese límite se necesita por lo menos una cobertura de plantas vivientes y desechos en dos terceras partes de la superficie, y las praderas subalpinas con tierras pesadas necesitan hasta un 75% de cobertura para obtener la misma protección.

2º El pastado puede ser muy perjudicial cuando la tierra está húmeda y queda sujeta a la consolidación. En las elevadas zonas montañosas de bosques del Este, no es aconsejable dejar que paste el ganado cuando la tierra está saturada todavía con el deshielo de las nieves.

3º Deben hacerse frecuentes inspecciones de las áreas pastadas para descubrir a tiempo los síntomas de exceso de pastado y deterioración de la tierra. Los daños a la tierra ocurren muy lentamente en las zonas de pastos y es muy importante descubrirlos con la mayor anticipación posible.

La prevención y el control son los dos fines principales de las medidas recomendadas en los párrafos anteriores para la construcción de caminos, operaciones madereras, pastado e incendios, y la erosión se mantendrá dentro de límites aceptables si se aplican de acuerdo con las necesidades de cada vertiente hidráulica individual, eliminándose virtualmente con ellas la necesidad de aplicar costosas medidas correctivas.

Un incidente ocurrido en West Virginia enfatiza el costo de la falta de aplicación de medidas preventivas. En octubre de 1954 una fuerte tormenta azotó una área montañosa y las inundaciones llegaron y sobrepasaron de los niveles

máximos de inundación registrados en varios lugares, ocurriendo daños graves. Inmediatamente después se hizo una inspección de algunas áreas forestales para averiguar el origen de los daños en las zonas madereras en explotación y recientemente terminadas. En aquellos lugares en donde se habían aplicado medidas preventivas y se había empleado el equipo adecuado, los caminos, plataformas de carga y sendas de deslizamiento no mostraron una erosión excesiva. En los sitios en donde no se tomaron las debidas precauciones, se destruyeron caminos, puentes y alcantarillas, y en muchos casos se perdió totalmente la inversión inicial.

En una región de Mississippi se removió hace muchos años la cobertura original de maderas duras y el área se convirtió en tierras de granja. La tierra y el clima hacen esa región sumamente susceptible a la erosión, no habiéndose dado importancia a los primeros síntomas de una próxima deterioración, dando por resultado que se formaran hondonadas de 60 pies de profundidad. Para remediar esa situación se necesitan ahora costosos controles mecánicos, tales como relleno de hondonadas, trincheras de contorno, desviaciones de aguas, muros de retención y presas de almacenamiento, a fin de estabilizar la tierra en grado suficiente para permitir que la vegetación se establezca de nuevo.

La vegetación permanente será siempre una necesidad primordial en las áreas desnudas dañadas por la erosión. En las áreas desnudas de bosques y praderas, el propósito principal es el restablecimiento de los árboles y de las hierbas; pero hay muchos casos en que es necesario un tipo de cobertura rápida con vegetación de corta vida, a fin de conservar la tierra hasta que puedan sembrarse especies más permanentes. Esto se ha hecho en el sur de California sembrando de mostaza negra más de 130,000 acres de declives de chaparrales incendiados. El éxito ha variado, dependiendo de lo bien que se establezca la mostaza antes de que las fuertes lluvias azoten los declives sembrados.

AUNQUE EL ENCARGADO de una vertiente hidráulica tenga que luchar con la tarea de reconstruir las tierras deterioradas, su propósito principal para el futuro está bien claro. En las vertientes hidráulicas forestales debe encontrar la mejor forma de evitar la erosión al mismo tiempo que se utiliza toda su capacidad productiva.

Muchos encargados de vertientes pretenden llevar a cabo ese ideal por medio de un desagüe que conserve un plantío productivo de árboles que varíen desde retoños hasta árboles totalmente crecidos. Ya se ha construido y estabilizado un sistema completo de caminos que hace posible la remoción de los productos forestales vendibles de las cortas de recolección y el aclaramiento de los bosques, con un mínimo de disturbios a la tierra y de sedimentación de los arroyos. El sistema de caminos permite también una completa protección contra incendios, así como el acceso a las áreas de pesca, caza y campamentos. Cerca de la entrada de esa vertiente hipotética el arroyo puede fluir a través de un valle con granjas de riego, varias pequeñas comunidades y una industria que utilice la madera y que puede consistir de dos aserraderos, un molino de fibra y una fábrica de muebles. Todos dependen de la vertiente hidráulica para obtener un flujo constante de agua limpia, un suministro continuo de productos de madera y un lugar de recreo.

El encargado de una vertiente hidráulica puede ayudar a conseguir esta clase de utilización integrada si planea cuidadosamente el control de la erosión y aplica luego ese programa con habilidad y diligencia.

E. G. DUNFORD *está encargado de las investigaciones sobre vertientes hidráulicas del Servicio Forestal en la Estación Experimental de Bosques y Praderas del noroeste del Pacífico. Desde que se dedicó a esas actividades en 1941 ha trabajado en las Montañas Rocallosas de Colorado, en el sur de los Montes Apalaches y al pie de las montañas de South Carolina. Se graduó en la Universidad de Washington y en la Escuela Forestal de la Universidad de Yale.*

SIDNEY WEITZMAN *es empleado del Servicio Forestal y se ha especializado en investigaciones sobre sistemas integrados de manejo de bosques y vertientes hidráulicas en áreas mon-*

tañosas. Está a cargo de la investigación en el Centro de Investigaciones de los Estados Montañosos de la Estación Forestal Experimental del Nordeste. Se graduó en el Colegio Forestal de la Universidad de Syracuse.

Las inspecciones del suelo en las tierras de bosques y pastos

J. L. Retzer y E. A. Colman

EL AGRICULTOR, el explotador de pastos y el guardia forestal necesitan información sobre las productividad de sus tierras, a fin de poder manejarlas eficazmente. Esa información se obtiene por medio de inspecciones o mediciones, de las cuales hay varias clases.

Las inspecciones de tierras se hacen en forma de mapas que muestran el estado en que se encuentran, y de informes que contienen datos sobre la forma en que se utilizan.

Las inspecciones de cosechas, con o sin mapas, muestran las clases de cosechas que se cultivan, sus rendimientos y las prácticas de manejo de la tierra que se emplean.

Las inspecciones de suelos muestran por medio de mapas las clases de tierras existentes, la extensión superficial de cada una, y los informes explican sus características y discuten los usos a que puede destinarse cada tipo de tierra. La información suministrada por esas inspecciones permite al conservador de tierra destinar cada porción de ellas al uso más adecuado, y le ayuda a determinar en dónde hay que aplicar las prácticas aconsejables que se han perfeccionado por medio de la experiencia y de la investigación.

Las inspecciones del suelo son de especial importancia para el conservador de tierras, por dos razones:

Primera. En términos generales, la tierra puede compararse a un banco del cual se retiran fondos para la producción de cosechas. Esos fondos son el agua y los elementos nutritivos de las plantas. Con los datos obtenidos por medio de las modernas investigaciones del suelo, el conservador de tierras puede determinar si sus tierras cuentan con un desagüe adecuado o restringido, y puede obtener cierta información sobre la cantidad de agua que pueden retener y la rapidez con que pueden absorber el agua de las lluvias o de los deshielos de las nieves. Las inspecciones del suelo le proporcionan también información sobre el nivel de substancias nutritivas en sus tierras, cuáles de esas substancias existen en cantidades suficientes y cuáles escasean. Además, y esto es de particular importancia para los conservadores de tierras de colinas o silvestres, las inspecciones de suelos proporcionan información sobre la susceptibilidad de las tierras a la erosión y al rápido desbordamiento de las aguas de las tormentas.

Segunda. Las tierras son variables y difieren considerablemente de un sitio a otro en las características que hemos mencionado. Son necesarias las investigaciones para precisar dónde se encuentran las tierras con determinadas combinaciones de esas características. Una inspección de suelos suministra información que permite al conservador de tierras seleccionar las áreas para determinados usos, basándose en la potencialidad de la tierra para producir cosechas de varias clases y en las medidas de conservación necesarias para mantener la tierra en su sitio y hacer que continúe siendo productiva.

Una inspección de suelos completa consiste de un mapa y de un informe. El mapa muestra la localización y linderos de cada clase de tierras. El informe describe las características de cada una y proporciona información sobre sus posibilidades de empleo para producción de cosechas y sobre las medidas necesarias para protegerla v conservarla productiva. Mediante la debida interpretación, tanto el mapa como el informe contienen abundante y valiosa información que puede emplearse para solucionar los problemas de ingeniería que se presenten en relación con la construcción de caminos y otras obras estructurales. El informe tiene tanta importancia como el mapa de tierras, ya que sin él el conservador de tierras carecería de datos para saber có-

mo responden al tratamiento los diferentes tipos de ellas.

Debe seguirse un sistema uniforme de clasificación de tierras, a fin de que puedan utilizarse esos datos. Las unidades de clasificación de tierras (series de tierras) deben definirse en tal forma que puedan apreciarse de igual modo las diferencias de tierra independientemente del lugar en que se hagan las inspecciones. La serie de tierras es la unidad de clasificación que se usa actualmente, y según la define el Manual núm. 18 del Departamento de Agricultura, esa serie de tierras "es un grupo de tierras que tienen horizontes similares en sus características de diferenciación y distribución en el perfil del suelo, con la sola excepción de la contextura de la capa superficial desarrollada de un tipo especial de material progenitor". Dentro de las series de tierras se aceptan dos subunidades: Los tipos de tierras que difieren en la contextura de la capa superficial y las fases de tierra que difieren en características tales como abundancia de piedras, declive, profundidad o grado de erosión. Este sistema de clasificación se usa en toda la nación y permite un reconocimiento uniforme de los diferentes tipos de tierras en todas partes de los Estados Unidos de Norteamérica.

Se han hecho progresos importantes hacia un sistema internacional de nomenclatura de tierras, y en esa forma, por medio de su clasificación, podemos utilizar en nuestro país los resultados de las investigaciones efectuadas en otros países sobre clases similares de tierras.

Las inspecciones de suelos en las tierras de bosques y praderas difieren en ciertos aspectos de las que se llevan a cabo en tierras cultivadas. Ambas emplean generalmente las series de tierras como unidades de clasificación; pero difieren ordinariamente en el tanto mínimo del área que incluyen y en el método empleado para hacer la inspección, existiendo tres razones para esas diferencias.

Las tierras cultivadas se manejan en forma diferente que las de bosques y praderas. Las tierras cultivadas se manejan intensamente, se aran, fertilizan y siembran para la producción de cosechas que ordinariamente requieren cuidados durante su crecimiento. Pueden manejarse económicamente de modo diferente áreas de un acre o menos, a fin de asegurar la máxima producción de cosechas, lo que justifica la delineación de pequeñas áreas que contienen tierras diferentes. Las tierras silvestres se manejan extensamente, y el propósito principal consiste en hacer crecer y recolectar cosechas nativas sin cultivo alguno u otro tratamiento de la tierra, protegiendo a ésta contra la excesiva erosión y el desbordamiento. Como esto se hace de modo uniforme en áreas muchos mayores que unos cuantos acres, no se justifica el trabajo de separación empleado en las tierras cultivadas. Ordinariamente el tamaño mínimo de las áreas delineadas en los mapas de tierras de bosques y praderas es entre 10 y 40 acres.

Las tierras cultivadas son más fácilmente accesibles que las de bosques y praderas. Como las tierras cultivadas son abiertas y pueden atravesarse fácilmente, sus linderos pueden fijarse con una precisión considerable en un mapa. Muchas tierras de bosques y praderas comprenden pocos caminos, y muchas de ellas son escarpadas y quedan alejadas, y su accesibilidad limitada hace que el costo de las inspecciones detalladas de suelos sea prohibitivo, excepto en casos especiales tales como aquellas áreas que se investigan bajo controles científicos. Las áreas mínimas delineadas, por lo tanto, son ordinariamente mayores en tierras de bosques y praderas que en tierras cultivadas.

Los suelos de los bosques y praderas difieren a menudo en ciertos aspectos de los de las tierras cultivadas. Muchos de esos suelos se desarrollan en el sitio debido al desgaste de las rocas de su interior y no han sufrido los efectos de los cultivos. Las áreas más favorables, aquellas que tienen tierras profundas y topografía favorable, se someten al cultivo. Las tierras cultivadas, muchas de las cuales se han desarrollado de los materiales arrastrados a las tierras bajas u otros lugares bajos, se han arado y alterado en el curso de la producción de cosechas. El conocimiento de la geología superficial proporciona a menudo datos importantes sobre las clases de tierra que puedan encontrarse en una área, y a menudo

los linderos de tipo rocoso indican cambios en los tipos de tierra. Otras formas distintas de tierra tienen diferentes clases de suelos. Las terrazas de los valles y los declives escarpados de las tierras altas son ejemplo de formas de tierra que tienen suelos distintos. Las formas de tierra suministran datos importantes para la localización de linderos de tierra que son difíciles de precisar en cualquier otra forma. Todos estos datos ayudan a los que se encargan de levantar mapas de tierras forestales y de praderas.

SE HAN ADAPTADO dos técnicas para la inspección de suelos en bosques y praderas. La primera consiste en el empleo de fotografías aéreas en la oficina para la delineación aproximada de los linderos de tierras y otras características del paisaje. Las fotografías aéreas son de gran valor para acelerar los trabajos de inspección de tierras en terrenos escarpados. Deben descubrirse en esas fotografías las diferencias del paisaje que se relacionen con las diferencias del suelo, después de lo cual pueden hacerse exámenes de campo para verificar la interpretación de las fotografías y para describir los suelos en áreas típicas. Los linderos de tierras, especialmente aquellos que coinciden con características obvias del paisaje, pueden dibujarse a menudo en forma precisa en las fotografías y transcribirse después a los mapas.

LA SEGUNDA TÉCNICA consiste en levantar mapas de varias características del paisaje en una sola operación. Se hacen mapas de las tierras y se hace además otro mapa de las diferentes características de la vegetación. En las tierras de bosques y praderas es conveniente hacer mapas de los tipos de vegetación, porque ésta es parte más permanente del paisaje que las cosechas de cultivo. El conocimiento de las especies que se encuentran presentes y su densidad, es de vital importancia para el conservador de tierras. El levantamiento de mapas de cosechas es un viejo procedimiento empleado en las inspecciones de suelos de las tierras cultivadas, cuando se desea obtener información de cosechas en esa área especial o en un año determinado. Esos mapas combinados tienen la ventaja adicional de que pueden estudiarse en el campo las relaciones existentes entre las características de la tierra y las de la vegetación. La inspección combinada de suelos y vegetación es más útil para fines de manejo que cualquiera de ellas aisladamente, y ofrece la ventaja adicional de disminuir los costos.

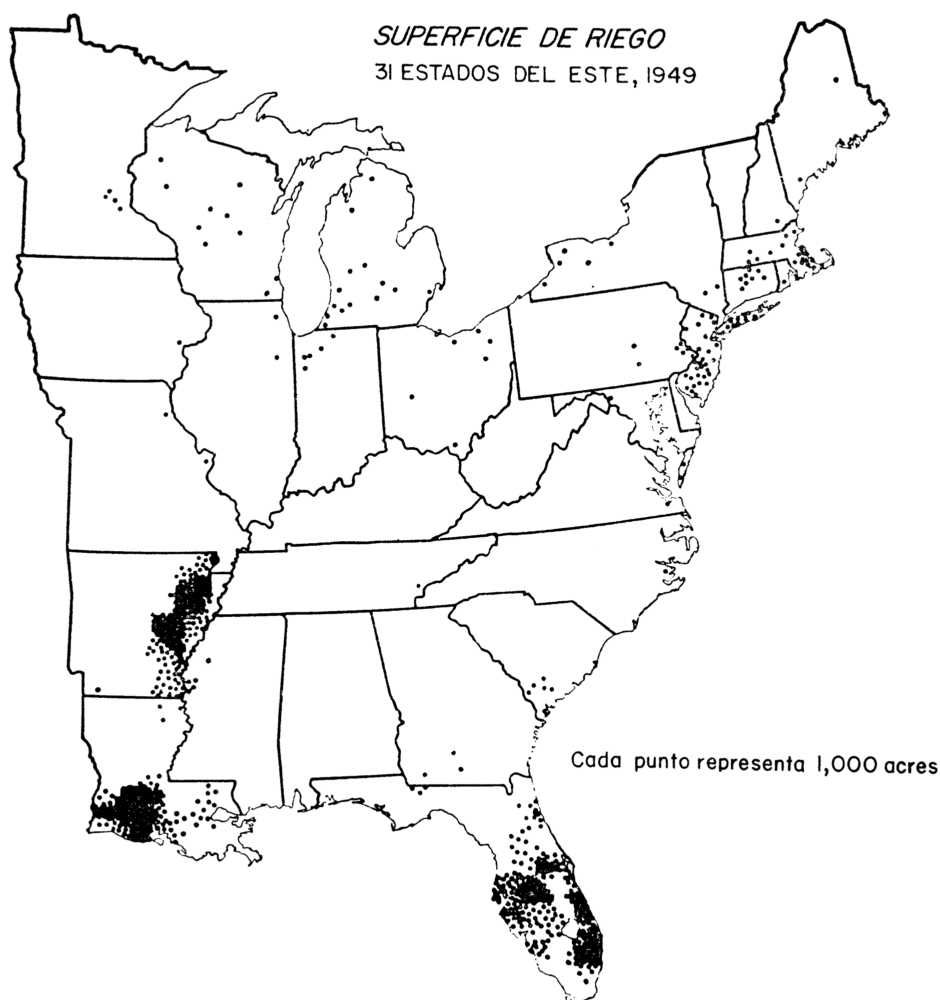
PUEDE DEMOSTRARSE mejor el empleo que se hace de las inspecciones de suelos de bosques y praderas, mediante ejemplos tomados de las inspecciones ya efectuadas o proyectadas.

Se ha iniciado una inspección combinada de suelos y vegetación en las áreas de bosques y praderas de California. La información obtenida incluye un mapa y la descripción de los suelos, y un mapa de la vegetación de bosques y praderas, con apreciaciones de las cualidades de cada sitio y producción de madera y forrajes de los diversos tipos.

Se cubrieron casi 4 millones de acres entre 1948 y 1955. A medida que se adelantó en el trabajo, se hizo más evidente que existe una estrecha relación entre la clase de suelo y la clase de vegetación. Ciertas tierras están asociadas con bosques de una elevada capacidad de producción y otras con bosques de menor capacidad productiva. Las tierras de hierbas de alta o baja calidad se asocian en forma semejante con ciertos tipos de suelos. Las estrechas relaciones encontradas permiten al conservador de bosques utilizar las inspecciones de suelos como guía para juzgar la capacidad de producción de madera de las tierras forestales que han sido taladas o quemadas a grado tal que el número de árboles que queda es insuficiente para determinar la calidad del sitio. Permite también al conservador de praderas calcular la producción de forrajes de las tierras de hierbas cuya cobertura se ha deteriorado tanto que no se puede hacer una determinación directa, y proporciona la base para juzgar si la tierra cubierta de maleza puede destinarse a la producción de madera o forrajes o si puede producir tan poca cantidad de ellos que no se justifique el esfuerzo y el costo que implique su conversión a árboles o hierbas.

La investigación de California puede servir también para otras necesidades de conservación. En la conservación de vertientes hidráulicas se necesitan datos sobre la proporción en que las diferentes clases de tierra pueden absorber el agua, y la proporción en la que ésta se filtra a través del perfil de la tierra; las cantidades de agua necesarias para humedecer las tierras secas antes de que se inicien los flujos superficiales; la susceptibilidad de las tierras a la erosión y la forma en que la clase y condición de la cubierta vegetativa afectan esas funciones. Para fines de ingeniería se necesita información sobre la capacidad de determinadas tierras para suministrar materiales de revestimiento para los caminos y sobre la tendencia de las tierras a deslizarse cuando se hacen cortes o a deslavarse cuando se usan como material de rellenos. Cuando se obtiene información de esta clase para los ejemplos representativos de los tipos más importantes de tierra, puede extenderse a grandes áreas en donde se encuentran los mismos tipos de tierra, empleando la clasificación de tierras que muestran los mapas.

EN LOS ESTADOS de los Lagos se encontró que la capacidad maderera de los sitios estaba relacionada con las series y tipos de tierra. Se encontró, por ejemplo, que ciertas tierras estaban ordinariamen-



te asociadas con plantíos sumamente productivos de pino blanco, y que otras estaban asociadas con plantíos de pino de productividad media o baja.

En el este de Texas se encontraron relaciones semejantes en los pinos loblolly y de hoja corta. En Washington se encontraron diferencias en la calidad de sitios para abetos Douglas entre tierras que eran apreciablemente diferentes.

EN LOS ESTADOS UNIDOS de Norteamérica se han levantado mapas, aproximadamente, en 18.6 millones de acres de tierras de bosques y praderas, entre 1949 y 1955. Algunas de las investigaciones fueron demasiado amplias y esquemáticas para que pudieran aprovecharse a su máximo; pero suministraron, sin embargo, grandes cantidades de valiosa información para el conservador de tierras. Las inspecciones que resultaron más útiles siguieron los procedimientos normales en relación con los métodos de levantamiento de mapas y clasificación y examen de tierras.

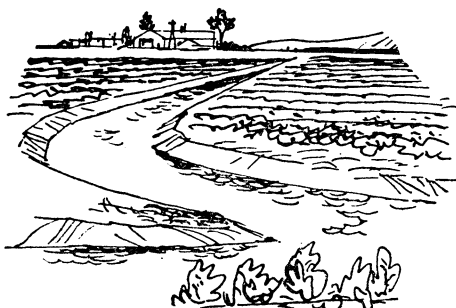
A medida que la conservación de bosques y praderas se hacen más intensa, tiene más importancia la información obtenida por medio de las inspecciones de suelos. Mediante una interpretación adecuada, esas inspecciones proporcionan un tipo de inventario de recursos de tierra que es indispensable para el planeamiento adecuado de la utilización de los mismos.

EN LAS TIERRAS de praderas, esas inspecciones indican qué tipo de forrajes puede producirse en determinadas praderas, cuáles son las plantas más adecuadas para reconstituir la vegetación de las praderas desnudas y cuáles riesgos de erosión son consecuencia de los diversos métodos de pastado. En las tierras de praderas infestadas de maleza, indican en dónde y bajo qué condiciones pueden llevarse a cabo con éxito la remoción de la maleza y el mejoramiento de los forrajes. En las tierras de bosques proporcionan una guía para las prácticas de recolección de madera que ayuda a la regeneración de los bosques y mantiene la erosión al mínimo, e indican la capacidad de ciertas áreas determinadas para la producción comercial de madera. En el manejo de las vertientes hidráulicas permiten la división de una extensión de tierra en clases relacionadas con la susceptibilidad del suelo a la erosión, su capacidad para recibir, almacenar y transportar agua y su adaptabilidad a diversas prácticas de control de agua.

J. L. RETZER *es técnico de tierras en la Estación Experimental de Bosques y Praderas de las Montañas Rocallosas del Servicio Forestal. Trabajó desde 1934 hasta 1942 con el Departamento de Agricultura en inspecciones de suelos en Illinois y California, y desde 1946 ha estado encargado de investigaciones sobre tierras de bosques y praderas en las Montañas Rocallosas.*

E. A. COLMAN *es jefe de la División de Conservación de Vertientes Hidráulicas de la Estación Experimental de Bosques y Praderas de California del Servicio Forestal, habiéndose graduado en la Universidad de California.*

El agua de riego



El incremento de los riegos en el Oeste

Elco L. Greenshields

EL ÁREA TOTAL de tierras de riego en los 17 estados del Oeste era, aproximadamente, de 27.5 millones de acres en 1953, y esto constituye sólo el 3.5% de la superficie total de las tierras de granja en esos estados; pero su significado para la agricultura es mucho mayor que lo que indican las cifras. Aproximadamente el 12% de toda la tierra de cosecha recolectada fue de riego. Más del 21% de todas las granjas tenían algunos campos con riegos, y el valor de las cosechas recolectadas en tierras de riego constituyó, aproximadamente, el 35% del valor total de las cosechas recolectadas.

A pesar de los costos cada vez mayores para la instalación de obras de riego y de las limitaciones más estrictas para el uso del agua disponible, la agricultura de riego continúa en aumento. En los 10 años comprendidos hasta 1950, se añadieron 7 millones de acres a la superficie de tierras de riego de los 17 estados, y en cada uno de los 5 años hasta 1950 quedó sujeto a riegos un promedio de más de un millón de acres.

Desde 1950 se han aumentado considerablemente los riegos, aunque la proporción anual de ese aumento parece haber sido sólo la mitad de la de 1945 a 1950. No podía esperarse que continuara indefinidamente esa expansión en la misma proporción de un millón de acres al año. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Gobierno y los particulares no pudieron instalar nuevos sistemas de riego, pero con la liberación de materiales después de la guerra pudieron seguir adelante con sus planes. Los altos costos y los bajos precios de los productos de granja hicieron que algunos agricultores detuvieran el incremento de nuevos sistemas de riego, y otro factor consistió en que en la mayor parte del Oeste se están utilizando ya para riegos algunos suministros de agua de fácil desarrollo. En sitios donde el agua abunda todavía, sólo puede llegarse a las mejores tierras superficiales por medio de bombeos costosos o de desviaciones.

NUESTROS CÁLCULOS de la superficie de riego se basan en datos escasos de la mayoría de los estados. Desde el Censo de 1950, que registró 24.270,000 acres de tierras de riego en el Oeste solo, se han hecho inspecciones de esas tierras en una pequeña porción de esa zona. Ese Censo de abril de 1950 mostró 1.138,000 acres de tierras de riego en Utah, en 1949. Un censo provisional llevado a cabo por la Oficina del Censo en octubre de 1953 en Utah, indicó un total de 1.356,000, sin incluir las tierras de riego que no se recolectaban y pastaban. Aproximadamente la mitad de ese aumento, 90,000

acres, consistía de tierras de pasturas de riego.

La División Estatal y Federal de Estadísticas de Nebraska, que ha hecho informes anuales de riegos en ese Estado, dio un total de 1.218,385 acres de tierras regadas en 1953, o sea un aumento de más del 25% en 5 años. La tierra regada por medio de pozos aumentó en un 50% hasta llegar a un total de 588,000 acres. Para fines de 1953 los agricultores de Nebraska estaban bombeando 9,718 pozos para fines de riego, y se calcula que se perforaron otros 1,000 pozos adicionales en 1954.

El rápido desarrollo del riego de pozos en Nebraska ha sido posible debido a la abundancia comparativa de agua del suelo relativamente buena en materiales productores de agua que se encuentran generalmente cerca de la superficie y que pueden reponerse por medio de la precipitación y del flujo de los arroyos. En Nebraska el peligro de un exceso de desarrollo parece existir solamente en ciertas pequeñas áreas en donde la reposición es restringida, creyéndose que los depósitos de agua del suelo son lo suficientemente abundantes para contener reservas para los periodos de sequía, en los que es probable que la demanda sea mayor que la reposición. El empleo de motores de combustión interna para el bombeo ha constituido un factor en la expansión del riego por medio de pozos en Nebraska, y los combustibles de bajo precio han hecho que esos riegos resulten prácticos para los agricultores.

La inspección de los riegos en las cuencas de los ríos Arkansas, White y Red, efectuada por un comité de varias agencias en el año 1944, dio un total de 1.648,000 acres de tierras de riego en Oklahoma, y en partes de Colorado, Kansas, New Mexico y Texas que se encuentran dentro de esas cuencas, lo que significa un aumento de 500,000 acres sobre el total de 1949. La mayor parte de ese aumento ocurrió en las altas planicies de Texas. En 1954, Oklahoma tenía 108,000 acres de tierras de riego, o sea más del doble de la superficie registrada en 1949. Los riegos en el valle del río Arkansas, en Kansas, han aumentado considerablemente.

La Estación Agrícola Experimental de Texas informó que en el 1954 había 4,680,000 acres de tierras de riego, o sea 1.5 millones más que en 1949. Desde 1944 las tierras de riego de las granjas de Texas han aumentado en 3.3 millones de acres, incremento que pone a Texas muy cerca de California en la cantidad total de tierras de riego. El Censo de 1950 registró 6.5 millones de acres de tierras de riego en California, y en 1945 la superficie regada en aquel estado llegó a un total de casi 5 millones de acres, comparado con 1.3 millones de acres en Texas.

Más de la mitad de la tierra de riego de Texas se encuentra en las altas planicies, en donde los riegos dependen por completo del agua del suelo y la lluvia anual fluctúa entre 6 y 40 pulgadas. Más de la mitad de los riegos de las altas planicies se han desarrollado desde 1950; pero esas actividades parecen haber llegado a su máximo, y ha habido algunas dudas acerca de si los suministros del agua del suelo podrían mantenerse en el nivel de desarrollo de 1955 bajo una base estable.

El valle inferior del río Grande, la segunda área máxima general de riego en Texas, cuenta con la mayor concentración de riegos en ese estado. Esa zona está densamente poblada e intensamente cultivada. El clima es semitropical y se riegan principalmente las cosechas de legumbres y de cítricos. De los 718,000 acres dotados de riego, 680,000 se regaron en 1954. La mayor parte del agua viene del río Grande, pero su escaso flujo en 1952 y 1953 causó un rápido aumento en la utilización del agua del suelo. En 1951 se regaron 23,000 acres con esa agua, y en 1954, algunos de los 160,000 acres quedaron dotados con riegos de agua del suelo.

Una parte del agua del bajo río Grande se bombea dos veces, o más, antes de que llegue a los campos. Se espera que la terminación de la Presa Falcón, en octubre de 1953, construida por la Comisión Internacioal de Aguas y Linderos, haga más seguros los suministros de agua en el valle bajo.

La Oficina de Recuperación ha contribuido grandemente al desarrollo de los riegos en el Oeste. En 1953, 69 proyectos de recuperación proporcionaron un suministro total o parcial de agua para 7.147,000 acres. Entre 1950 y 1954, los proyectos de recuperación añadieron 282,000 acres de nuevas tierras de riego y suministraron agua adicional para otros 995,000 acres, incluidos en su mayor parte en el proyecto Big Thompson, de Colorado. Los proyectos en construcción y autorizados hasta el 1º de enero de 1955 por el Congreso, incluyen, aproximadamente, 6.5 millones de acres de tierras nuevas de riego en el Oeste, y proporcionan agua adicional a casi 4 millones de acres.

Varios programas del Departamento de Agricultura han alentado el incremento en los riegos. Mediante el programa de préstamos para servicios hidráulicos, manejado por la Administración de Hogares para los Agricultores, se ha concedido crédito a agricultores individuales o a grupos de ellos en los estados del Oeste para un gran número de proyectos de riego. En agosto de 1954 se reformó la ley básica para extender la concesión de préstamos para servicios hidráulicos a todos los estados, y entre 1949 y 1955 se hicieron 4,002 préstamos iniciales para servicios hidráulicos para obras de riego en 6,585 granjas. Esos servicios suministrarán riegos para más de 455,000 acres, por medio de esos préstamos iniciales y otros subsecuentes a los mismos usuarios. Se hizo un total de 1,247 préstamos para perforación de pozos que regarán 138.000 acres. Se hicieron 60 préstamos para construir pequeñas represas que almacenarán aguas para regar 41,000 acres, y se concedieron préstamos a otros 210 solicitantes para la construcción de canales y zanjas, a fin de regar 83,000 acres. Doscientos solicitantes obtuvieron préstamos para la compra de bombas de arroyo para regar 15,000 acres, y se hicieron más de 1,000 préstamos para la nivelación de 52,000 acres.

Por medio del programa de conservación agrícola del Servicio de Estabilización de Productos, se ha dado ayuda, desde 1941, a un gran número de prácticas de irrigación, principalmente en los estados del Oeste. Los agricultores han utilizado esa ayuda para construir casi 14 millones de varas de zanjas, diques y desviaciones laterales, para construir 11,400 represas para almacenar o desviar aguas de riego y para nivelar más de 6 millones de acres de tierra. Otros programas de ayuda han incluido el revestimiento de 675,000 varas de zanjas de distribución, la construcción de más de 400,000 rebajes, caídas, compuertas, retenes y estructuras semejantes, y la instalación de 3.5 millones de varas de conductos, sifones, tuberías y alcantarillas.

Otro programa del Departamento, manejado por el Servicio de Conservación de Tierras, suministra supervisión técnica y de ingeniería a los agricultores para prácticas de conservación de tierra y agua.

Los agricultores del Oeste solictaron esta ayuda en relación con la nivelación de más de 5 millones de acres de tierra en 1949-53, y obtuvieron la supervisión técnica para aplicar el agua a más de 12 millones de acres.

No puede tomarse ninguna medida de importancia en los riegos del cuadro total agrícola del Oeste. La mitad de sus tierras se emplean para pastos y sólo se riega una pequeña parte de ellas. Del total de tierras de pastos y praderas de la nación, el 85%, o más, de 700 millones de acres, se encuentra en los estados del Oeste, y los ranchos y granjas del mismo producen casi las dos quintas partes de las reses y terneras y la mitad de los carneros y ovejas. El riego contribuye a esta producción de ganado en gran parte, mediante la producción de granos y pasturas.

Si no hubiera riegos, varios millones de acres de tierras de cosechas del Oeste producirían muy poco o casi nada. Sin embargo, para estimar el valor de los riegos hay que considerar que gran parte de las tierras de regadío del Oeste podrían producir pasturas para el ganado o cosechas de labranza seca sin necesidad de riegos. La contribución de éstos varía desde un aumento en la producción del 100% en algunas tierras, hasta un aumento del 15 al 20% en las zonas más húmedas. Un cálculo general razonable parece indicar que el riego significa un

aumento del 25 al 50% sobre los rendimientos que pueden obtenerse sin él.

El riego ha aumentado también la producción de cosechas alimenticias y de heno, y ha hecho posible, por lo tanto, una industria ganadera más importante y estable. El riego ha producido una nueva agricultura en los valles del Oeste, una mayor variedad de cosechas, muchas de ellas especiales, la diversidad en las empresas agrícolas, estaciones más largas y un gran porcentaje de estabilidad.

La contribución de los riegos a la producción de cosechas del Oeste parecería relativamente mayor si no fuera por la enorme capacidad de producción de trigo de la región bajo métodos de labranza seca. Los 17 estados del Oeste producen las tres cuartas partes del total del trigo de la nación, y en ellos se producen casi cuatro quintas partes del total combinado de los cuatro granos alimenticios, trigo, arroz, centeno y trigo negro.

De la superficie triguera del Oeste, que variaba de 50 a 62 millones de acres en los últimos 5 años hasta 1953, se regaron 3.7 millones de acres. Mediante los mayores rendimientos obtenidos en la producción de trigo empleando riegos, hubo un aumento del 7 al 15% de la producción total. Como el trigo puede cultivarse con éxito mediante prácticas adecuadas de conservación de agua y de labranza seca con una precipitación anual tan escasa como de 12 a 15 pulgadas, no es probable que los riegos en la zona triguera aumenten grandemente, pudiendo obtenerse aumentos potenciales mucho mayores por medio de los riegos con otras cosechas.

Casi todo el arroz, remolachas de azúcar y frutas cítricas cultivados en el Oeste, dependen de los riegos. Dos quintas partes de la producción de heno y forrajes en el Oeste se cosechan en tierras de riego, y esos mismos riegos producen, aproximadamente, una décima parte de los granos que se usan para alimento del ganado, dos quintas partes de las cosechas de forrajes, una tercera parte del algodón y casi cuatro quintas partes de todas las legumbres y frutas. Aunque las cosechas que los agricultores cultivan con riegos cambian de un año a otro como resultado de las fluctuaciones de precios y otros factores, la tendencia general en años recientes ha sido regar aquellas cosechas que producen los más altos valores por acre.

Aproximadamente una quinta parte del algodón de la nación en 1939 se produjo en tierras de regadío de los estados del Oeste productores de algodón, Oklahoma, Texas, New Mexico, Arizona y California. En 1954, esos 5 estados produjeron la mitad del total de nuestra cosecha de algodón, y en 1949 se cultivó por medio de riegos una tercera parte de la cosecha de algodón del Oeste. Para 1950, la mitad del algodón cultivado en el Oeste se produjo en tierras de riego, y para 1953, se produjeron más de las tres quintas partes.

La octava parte de las cosechas de la nación que se producen en tierras de regadío requiere solamente la utilización de una dieciseisava parte de las tierras de cosecha cultivadas en nuestro país. Por lo tanto, un acre de tierra de riego tiene, en promedio, el doble de la capacidad de las tierras sin riego; pero en los estados del Oeste, el 12% de las tierras de cosecha cultivadas con riegos produce el 35% del total de cosechas, sin incluir las pasturas y áreas forestales. Por lo tanto, en el Oeste, un acre de tierra regada de cosecha, en promedio, se aproxima al equivalente de 3 acres de tierra de labranza seca.

La extensión de los riegos en el Oeste varía con la cantidad de lluvias y con el tipo de labranza. En los tres estados de la costa del Pacífico, el 70% de las cosechas, de acuerdo con su valor, se cultivan con riegos. En California se riega, aproximadamente, el 85% de todas las cosechas. En Oregón, aproximadamente, el 35%, y en Washington, aproximadamente, el 45%. En los ocho estados de las montañas, aproximadamente, el 60% de la producción total de cosechas viene de tierras de riego, y en Arizona y Nevada casi todas las cosechas son de riego. En Utah y Wyoming los riegos varían del 75 al 85% del total, y en la faja de estados de North Dakota y Texas, aproximadamente, el 5% de la producción de cosechas viene de tierras regadas. En Texas se produce aproximadamente, el 15% de todas las cosechas

en tierras de riego, y en Nebraska, más del 10% de ellas se producen actualmente con ayuda de los riegos.

PUEDE ESPERARSE el continuo incremento de los riegos en el Oeste, aunque en una proporción más lenta que entre 1945-1954. Se llevará a cabo gran parte del desarrollo factible de agua del suelo con fines de riego y los agricultores individuales continuarán incrementando su utilización para riegos. Sin embargo, se hará más aguda la competencia por los suministros de agua que todavía no se utilizan, y, en general, es probable que aumente el costo del establecimiento de nuevas tierras.

Las inspecciones efectuadas por el Comité entre Agencias de las Cuencas de los ríos Arkansas-White-Red, indican un potencial total final de 3.040,000 acres para la parte de esa cuenca que queda en los estados del Oeste. La realización de ese potencial añadiría un total de 1.400,000 acres de tierras de riego. El informe del Comité muestra también la necesidad de proporcionar suministros adicionales de agua para 525,000 acres que se regaron en 1954. El Comité hizo notar que el potencial físico indicado requeriría la máxima utilización práctica de los recursos hidráulicos disponibles dentro de los límites de las tierras que se encuentran libres. Se incluyen muchos posibles proyectos que no llenarían las normas de aceptación actuales de realización económica.

La Oficina de Recuperación calculó que los suministros de agua en el Oeste eran suficientes para poder regar un total de 42.243,000 acres de cosechas, lo que significaría el riego de 6 de cada 100 acres de tierras en las granjas del Oeste. Sobre la base de esa cifra y de mi cálculo para 1953 sobre extensión de riegos, quedan, aproximadamente, 15 millones de acres para posible futuro desarrollo. La Oficina de Reecuperación calculó que, aproximadamente, 7.5 millones de acres de riego no reciben un suministro completo de agua durante toda la estación.

Los datos disponibles en junio de 1952 sobre la cuenca del Missouri, muestran una área total desarrollada para riego de 5.5 millones de acres, y hay otra área adicional de 6 millones de acres que es físicamente susceptible de desarrollos futuros con un suministro completo de agua. Se espera que el Proyecto de la Cuenca del Missouri contribuya, aproximadamente, con 500,000 acres de nuevas tierras y proporcione agua adicional para otra superficie aproximadamente igual antes de 1962. En la Cuenca del río Columbia el agua destinada para riegos es, aproximadamente, de 4.400,000 acres, y el desarrollo final podría exceder de 8 millones de acres. En el Valle Central de California se riegan 5.600,000 acres de tierra con la futura perspectiva de 3.400,000 acres adicionales.

En 1954 la Oficina de Recuperación inició un programa de 7 años de nuevos desarrollos para proporcionar un suministro completo de agua a un millón de acres y otro suministro adicional, aproximadamente, a 1.5 millones de acres. La terminación del desarrollo proyectado añadiría 144,558 acres de nuevas tierras de riego y suministraría agua adicional a 210,150 acres cada año, hasta 1960.

Debe hacerse notar, sin embargo, que estos proyectos potenciales de la Oficina de Recuperación se basan primordialmente en factores físicos y no económicos, y principalmente en los de conservación y almacenamiento adicional del desbordamiento. Se considera que con los actuales conocimientos y facilidades técnicas puede utilizarse, aproximadamente, una tercera parte del desbordamiento, y actualmente sólo se aprovecha una quinta parte del promedio anual de desbordamiento en los estados del Oeste. La utilización ulterior de agua del suelo para fines de riego no se tomó en consideración en esos proyectos.

El actual conocimiento de los suministros de agua del suelo y de las proporciones de recuperación es insuficiente para calcular los límites prácticos del riego por medio de pozos. Puede ocurrir un exceso de expansión de agua del suelo en muchas áreas antes de que se conozca la proporción segura de su extracción, y en algunas localidades puede ocurrir un exceso de bombeo de los pozos destinados para riego. Las mediciones de los niveles de agua en los pozos de observación en una área de las altas planicies de Texas que

comprende 6 condados, demostró una declinación hasta del 12% durante un año, de enero de 1953 a enero de 1954. Las autoridades hidráulicas de la región dicen que la meseta de agua ha bajado y que puede agotarse el agua económicamente recuperable; pero en todo el Oeste no se ha llegado todavía al potencial total de utilización de agua del suelo.

A medida que se depende más del almacenamiento de agua subterránea debe cuidarse de evitar el agotamiento de esos suministros más allá de su recuperación natural anual. Debe explorarse cuidadosamente la posibilidad de adopción de medidas para acelerar la recuperación del agua subterránea por medio de diversos métodos de conservación. Aprovechando las labores de investigación que se están llevando a cabo actualmente, podemos encontrar métodos prácticos para incrementar el agua en los depósitos subterráneos.

El desarrollo razonable en lo futuro de mayores superficies de riego en el Oeste requerirá no solamente la utilización de nuevos suministros de agua, sino el mejor manejo de los que ya existen. El Oeste necesitará hacer un uso más eficiente de sus aguas disponibles e indudablemente tendrán que reducirse las pérdidas del agua de riego.

ELCO L. GREENSHIELDS *está encargado de los trabajos de investigación sobre utilización de aguas en la Rama de Investigaciones de la Economía de la Producción del Servicio de Investigación Agrícola. Se unió al Departamento de Agricultura en 1934 y se graduó en el Colegio Agrícola y Mecánico de Oklahoma.*

Los riegos suplementarios en las regiones húmedas

Max M. Tharp y C. W. Crickeman

SE CONSIDERA GENERALMENTE que el área húmeda incluye los 31 estados del Este y del Sur que quedan limitados al Oeste por la faja de estados de Minnesota hacia el Sur, hasta Louisiana. La precipitación anual varía, aproximadamente, de 20 a 25 pulgadas en el noroeste de Minnesota, hasta 60 pulgadas, o más, en algunos de los estados del Golfo. En la mayor parte del área la precipitación anual generalmente es suficiente para mantener la producción constante de cosechas y pasturas. Sin embargo, son frecuentes los cortos periodos de sequía, y los riegos suplementarios se emplean primordialmente para compensar la mala distribución de las lluvias durante la estación de crecimiento.

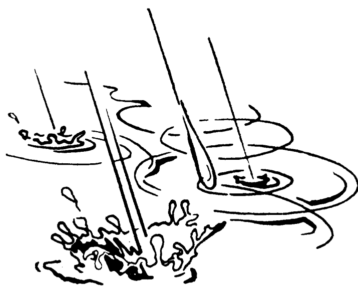
Los riegos suplementarios se practican en el Este con la idea de mejorar la clase de producción que ya existe, más bien que con la de hacer posible una nueva clase de agricultura como es típico en el Oeste. Los riegos suplementarios salvaguardan contra las sequías, aumentan los rendimientos, permiten la producción de artículos de mejor calidad, proporcionan una madurez más temprana y conservan la capacidad de pastado de las praderas, especialmente a fines de verano y en el otoño. Con los riegos adicionales se obtienen también mejores resultados con otras prácticas de mejoramiento, tales como la aplicación de fertilizantes.

Ordinariamente se emplean casi exclusivamente los sistemas de riego por aspersión para los riegos suplementarios en áreas húmedas. Excepto en las tierras de aluvión, el suelo y la topografía son tales que no se consideran practicables los riegos por medio de inundaciones, zanjas superficiales o surcos. En Louisiana y Arkansas se inundan los arrozales; en Florida y North Carolina, una parte de los riegos de las legumbres se hace bajo la superficie y la gran mayoría de las frutas cítricas se riegan por medio de surcos.

Las cosechas que requieren la saturación del suelo o las inundaciones, tales como el arroz y los arándanos, se han regado desde hace muchos años en las áreas húmedas, y desde hace mucho tiempo los cultivadores del Este y del Sur han reconocido la posibilidad de regar otras cosechas, tales como legumbres y frutas pequeñas; pero generalmente sólo durante los últimos años han apreciado los agricultores todas las potencialidades que ofrecen los riegos suplementarios.

Desde 1939 hasta 1949 las tierras de

Dejemos que la tierra y los pueblos se regocijen



ESTE ES EL RELATO de un programa para mejorar una vertiente hidráulica piloto en Ohio, y es, a la vez, un ejemplo, una guía y una lección. Los hechos que deja al descubierto pueden aplicarse a todas las vertientes de nuestro país.

La vertiente hidráulica del Alto Hocking está al oeste y al norte de Lancaster, Ohio, asiento del condado de Fairfield. Su área, de 31,418 acres (49 millas cuadradas), incluye 27,700 acres de tierras de granja, una parte de Lancaster y 3,202 acres de llanuras de inundación. La tierra baja se cultiva intensamente, y aproximadamente sus dos terceras partes se dedican a cosechas de granos anualmente. Hay unas 44 empresas de mayoreo, menudeo y pequeños fabricantes en la llanura de inundación dentro de la ciudad.

En el paso, toda tormenta que producía 6 pulgadas de desbordamiento inundaba la llanura de desbordamiento. Esas inundaciones han sido frecuentes a lo largo del Alto Hocking y Hunters Run, que se une al canal principal en Lancaster. Los daños causados por una inundación en 1948 se calcularon en un millón de dólares, y esos daños, debidos a las aguas de inundación y al sedimento, han sido en promedio de 100,000 dólares anuales, siendo un poco más de la mitad de ellos a la propiedad en Lancaster, y el resto, a las cosechas, pasturas, mejoramientos de granjas y transportación. Son muy comunes las hondonadas en la vertiente hidráulica y los declives han perdido hasta la mitad de su tierra superficial debido a la erosión de mantos.

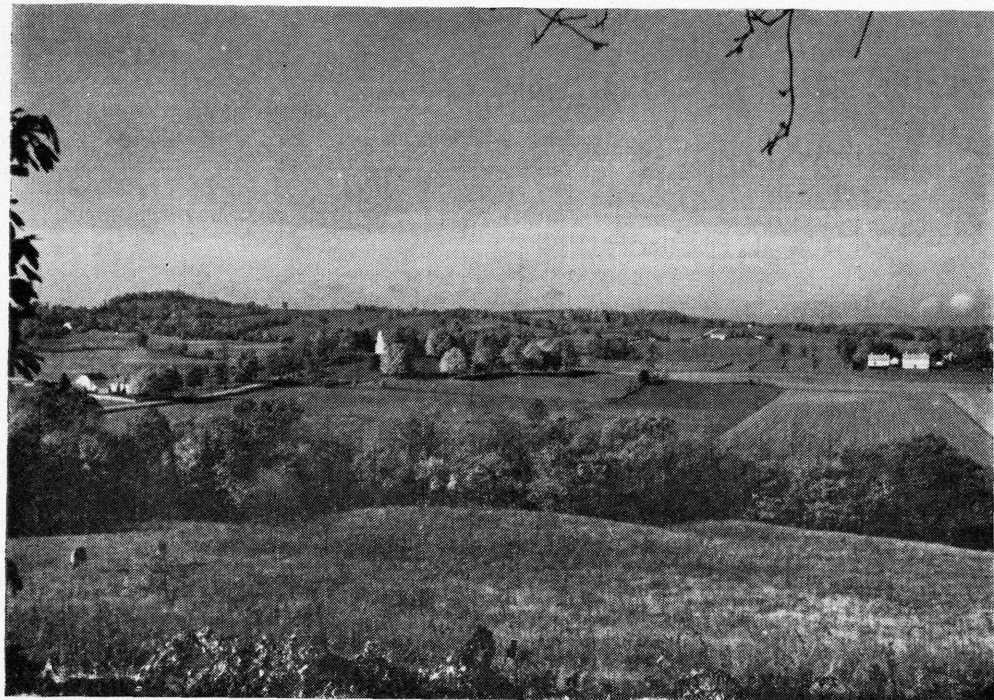
Se llevó a cabo conjuntamente un programa de protección de la vertiente hidráulica por los habitantes de la localidad, el Distrito de Conservación de Tierras de Fairfield y el Servicio de Conservación de Tierras. Su objeto era prevenir las inundaciones y conservar la tierra y el agua en la vertiente.

El programa incluye nueve presas de entrada de caída, que son presas de tierra con pequeños conductos de desagüe, que detienen las aguas de inundación de un desbordamiento de 6 pulgadas por el tiempo suficiente, a fin de que el agua pueda fluir lentamente a través de los conductos sin causar daños. Se están construyendo estructuras para el control de sedimentos, se están mejorando los canales de las corrientes y estabilizando las áreas críticas de producción de sedimentos.

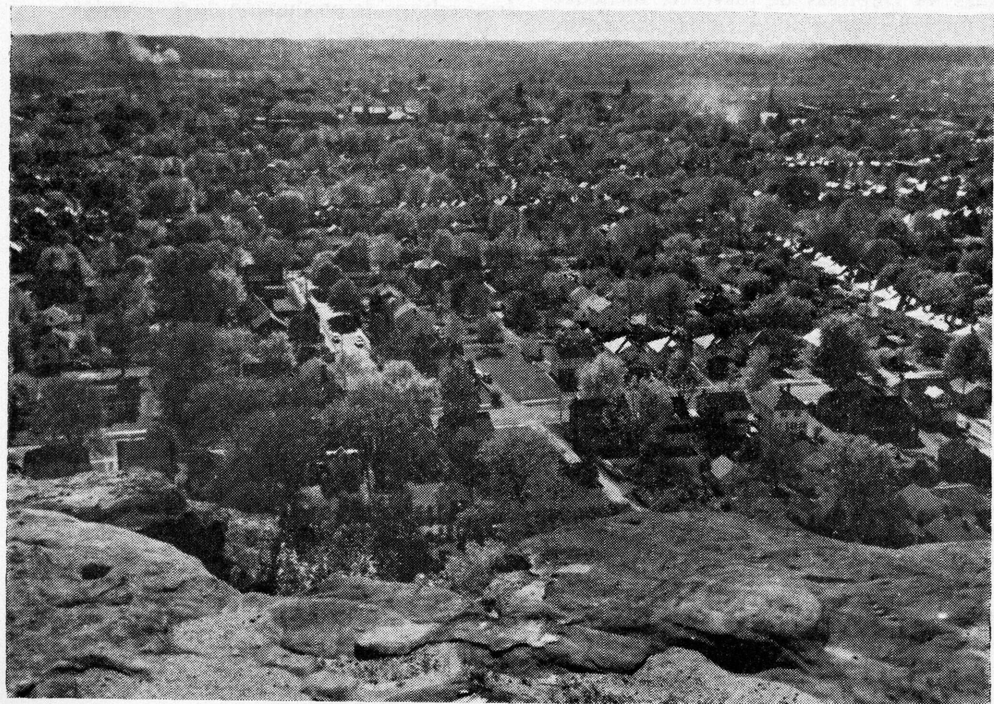
Las medidas de conservación incluyen ajustes en el uso de la tierra, siembra de cosechas en fajas, salidas de terracerías, terracerías, canales hidráulicos en las granjas, siembra de pasturas, cambios en los campos y siembra de árboles. Se está desarrollando también un programa para el control de los incendios, y los terratenientes reciben ayuda para el manejo de las selvas y bosques.

Los residentes esperan que con la terminación del programa se obtendrán beneficios de 98,000 dólares al año en la protección de la vertiente, un aumento neto en las entradas de las granjas de 84,000 dólares y una disminución del 87% en los daños anuales causados por las inundaciones.

Se ha calculado el costo total de las medidas de conservación y prevención de inundaciones en 1.5 millones de dólares, que han sido cubiertos casi por mitad por los residentes y el Gobierno Federal.

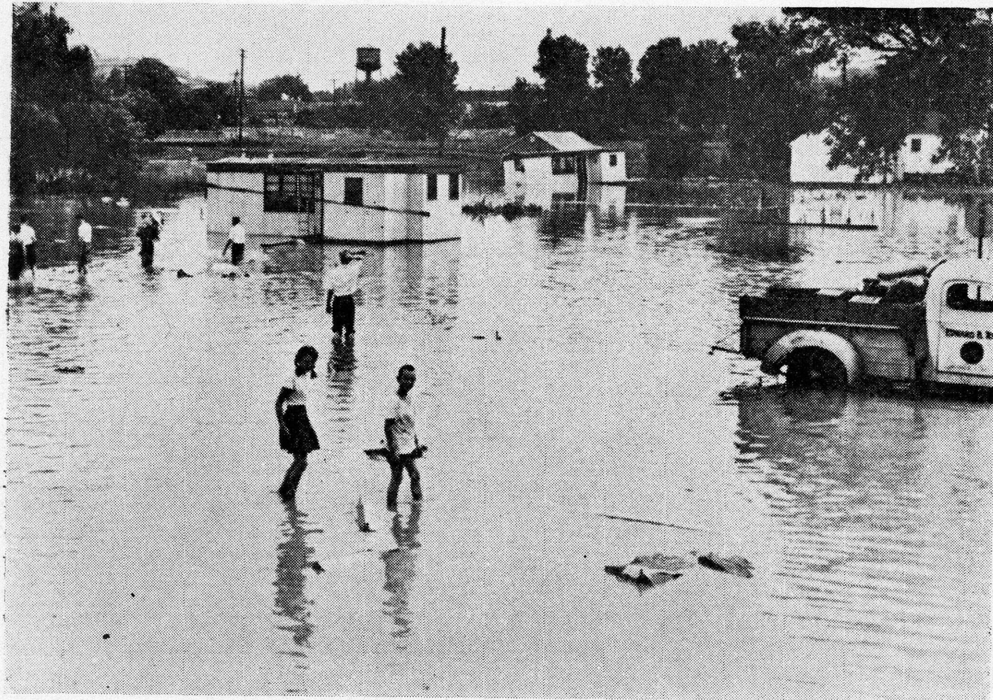


Las tierras bajas y las colinas de las tierras altas de la vertiente hidráulica del Alto Hocking, mantienen generalmente una agricultura de granos y ganado en 287 granjas, cuyo tamaño, en promedio, es de 61 hectáreas. Desde el parque Mount Pleasant, puede verse una parte de Lancaster, una ciudad de 26.500 habitantes. Los ríos Hocking y Hunter se unen en la parte más baja de Lancaster. Sus desbordamientos han puesto en peligro los hogares y negocios de la planicie fluvial.

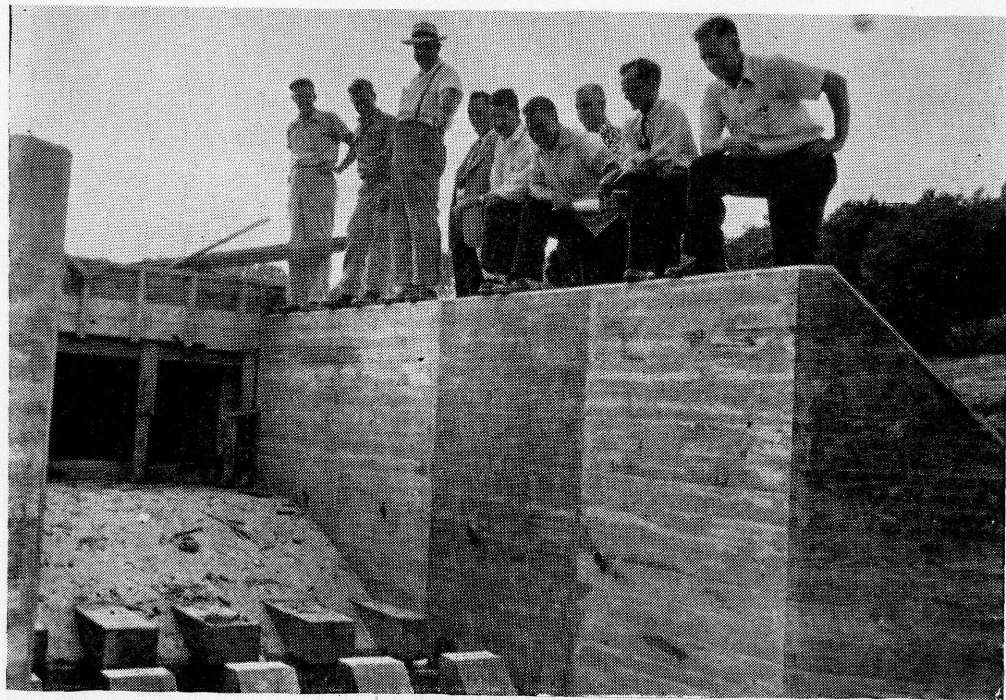




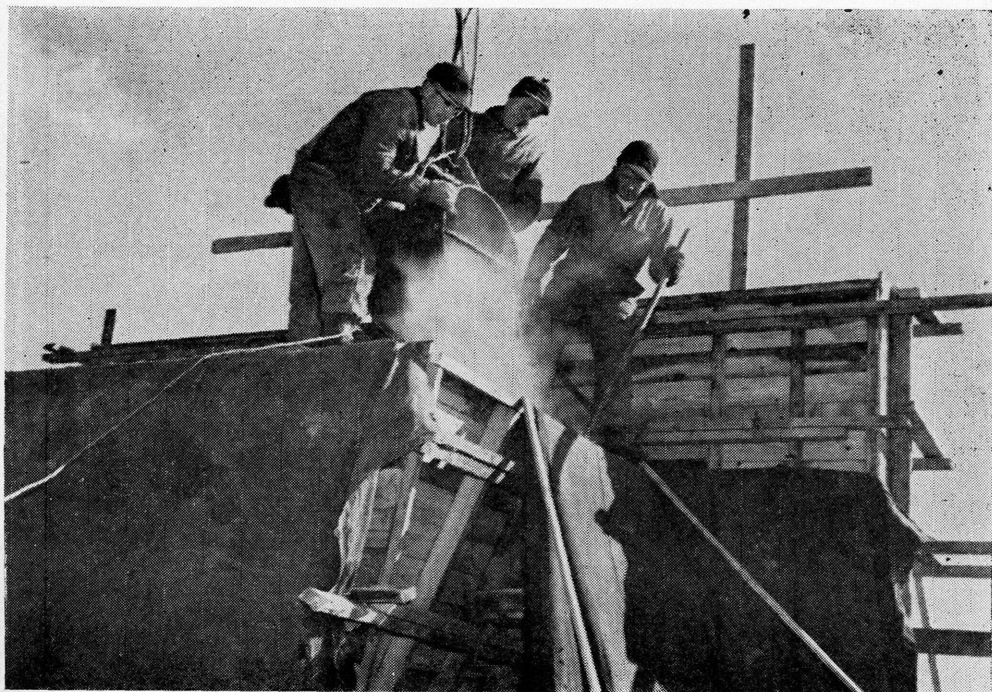
Pueden ocurrir grandes hondonadas en tierras sin protección. Cada lluvia abundante las hace más profundas. La tierra arrastrada por las inundaciones desde esas hondonadas hasta las tierras bajas, perjudica la planicie fluvial y debe removerse a un costo excesivo. Las tormentas de verano perjudican las cosechas de cultivo limpio tales como maíz. La erosión en capas y las hondonadas incipientes pueden no ser muv graves en un principio, pero en poco tiempo disminuyen el rendimiento de las cosechas y la productividad de las tierras.



Lanscaster sufrió una grave inundación el 22 de julio de 1948. Las pequeñas casas se desprendieron de sus cimientos. El sistema ferroviario sufrió daños graves. Los productos de madera y de otros negocios flotaron o quedaron enterrados en los desechos y sedimentos arrastrados corriente abajo desde las tierras altas.



A medida que se inició el programa de protección de la vertiente hidráulica del Alto Hocking, los agricultores y hombres de negocios mostraron un activo interés en el trabajo. Aquí se ve un grupo que inspecciona los bloques de disipación, de hormigón, empleados a la salida de la primera presa que se construyó. Los desagües de hormigón permiten el paso lento y uniforme de las aguas de desbordamiento al canal inferior. La obra de hormigón se termina antes de construir el bordo o relleno de tierra que forma la presa.



Los ingenieros del Servicio de Conservación de Tierras inspeccionaron los trabajos de los contratistas en las presas, de las cuales se planearon nueve para la vertiente hidráulica, con un costo aproximado de 900.000 dólares. Las superficies de las presas terminadas están protegidas con sembradíos de hierba para impedir la erosión. Se esparce heno embalado como cubierta vegetal para ayudar al crecimiento de la hierba.

Los trabajos para conservar la tierra y el agua en las granjas de la vertiente hidráulica se han llevado a cabo simultáneamente con medidas de prevención de inundaciones. Una práctica consiste en hacer desagües abiertos para eliminar las praderas encharcadas y aumentar la producción. Los desagües proporcionan conductos seguros para la disposición del agua en las vías de agua de los campos. Se formaron canales en antiguas hondonadas y corrientes naturales de agua. Se dejan las vías de aguas sembradas de hierba, como protección permanente para la tierra, y no se siembran durante el cultivo de los campos.

La siembra de fajas de contorno protege los campos donde se cultivan en rotación cosechas de cultivo limpio y de siembra cercana. Se interrumpe la fuerza del agua que corre sobre la tierra sin protección, cuando llega a las fajas alternadas de hierba. Esta detiene una parte del agua y filtra la tierra. Los agricultores de la vertiente hidráulica del Alto Hocking, proyectan sembrar con fajas aproximadamente 2 000 hectáreas. Los árboles plantados en tierras ociosas ayudan también a disminuir la erosión y el desbordamiento. Los estanques de las granjas se emplean para almacenaje de agua, para recreo y para otros fines. Los estanques pueden producir hasta 91 kilos de lobinas y rodados por 0.404 de hectárea de superficie acuática.

riego de las granjas de los 31 estados húmedos aumentaron, aproximadamente, de 739,000 acres a cerca de 1.517,000 acres. En 1949 se regaron, aproximadamente, un millón de acres de tierras arroceras en Arkansas y Louisiana. La superficie de riego fuera de las áreas arroceras aumentó desde menos de 200,000 acres en 1939, a más de 500,000 acres en 1949.

El Censo Agrícola hizo saber que se hacían algunos riegos en todos los 31 estados en 1949.

La mayor superficie de regadío fuera de Arkansas y Louisiana ocurrió en Florida, en donde se informó que en 1949 se regaron 365,000 acres, primordialmente para el cultivo de legumbres, flores y frutas cítricas. Aproximadamente el 35% del valor total de las legumbres recolectadas para su venta en Florida en 1949 se produjo con riegos, así como aproximadamente el 31% de la superficie total de los huertos, viñedos y plantíos de nogales. El área regada en Florida casi se triplicó en la década de 1939 a 1949.

Otros estados en los que se regaron superficies considerables en 1949, fueron: New Jersey, con 28,117 acres; New York, con 19,248 acres; Massachusetts, con 18,507 acres, y Michigan, con 13,901.

Aproximadamente el 6% de la superficie total de tierras de regadío en los Estados Unidos de Norteamérica en 1949 ocurrió en los 31 estados, 3.9% en Arkansas y Louisiana, 1.4% en Florida y 0.7% en los otros 28 estados.

El número de granjas de riego en Arkansas y Lousiana aumentó de 8,566 en 1939 a 10,498 en 1949, o aproximadamente un 23%. Prácticamente todo ese aumento ocurrió en granjas arroceras. En Florida el aumento en las granjas de riego fue de 3.947 a 6,075, o un 54%. En los otros 28 estados el número de granjas de riego se elevó de 4,002 a 7,012, o un 75%.

Las inspecciones de prueba en varios estados del Este indican la rapidez con que han aumentado los riegos suplementarios.

Una inspección efectuada en Virginia en 1953 indicó que las tierras de granjas de riego aumentaron de 2,817 acres en 1949 a 22,622 acres en 1953, o aproximadamente un 700% en 4 años. El número de granjas que informaron emplear riegos, aumentó de 71 en 1949 a 737 en 1953. Sin embargo, en 1953 se regaba menos de 0.2% de todas las tierras de granja en Virginia.

Los datos obtenidos por medio de las inspecciones efectuadas en Michigan indicaron que la capacidad de los sistemas de riego por aspersión en ese estado en 1953 eran muy superiores a los 14,000 acres de riego fijados por el Censo en 1949. En forma semejante una inspección efectuada en New York en 1952 permitió comprobar que había 1,570 granjas con tierras de riego que daban un total de 45,800 acres, mientras que el informe del Censo de 1949 mencionaba 888 granjas de riego con un total de 19,248 acres de tierras.

Cuando se levantó el Censo de 1950, los riegos suplementarios constituían una práctica poco frecuente en la zona productora de maíz y en otros estados centrales. Los potenciales de mayores rendimientos en el área, sin embargo, indican que aumentará la importancia de los riegos, y las investigaciones han demostrado que las sequías que duren 10 días en la zona productora de maíz pueden disminuir considerablemente los rendimientos del mismo, especialmente si ocurran durante el periodo crítico de producción de filamentos y mazorcas. En los estados del Centro parece ser también prometedor el riego de los pastos.

ENTRE LOS FACTORES que han alentado el empleo de riegos suplementarios en las áreas húmedas se cuentan los periodos de sequía, los equipos mejorados de riego y especialmente los portátiles, los tubos y rociadores ligeros, la información más amplia sobre las necesidades de humedad de las cosechas y pasturas y las entradas relativamente altas de las granjas, que han tendido a favorecer las inversiones en sistemas de riego.

Cuando los agricultores reciben precios altos, los riegos tienen más oportunidad de producir utilidades. El aumento en las entradas derivado de los riegos de una cosecha de gran valor, como las legumbres, ha permitido a veces a los agricul-

tores pagar los equipos de riego sólo después de 2 ó 3 años de uso. Si tienen mayores entradas, los agricultores se sienten más dispuestos a invertir sus ahorros o a solicitar prétamos, a fin de efectuar las considerables inversiones que requieren los sistemas de riego.

AUNQUE EL CLIMA, el suelo y la clase de cosechas que se cultivan afectan la necesidad de los riegos, la posibilidad de que los riegos suplementarios se conviertan en práctica regular de labranza queda condicionada a la disponibilidad de un suministro adecuado de agua de buena calidad para riegos.

Las variaciones en las necesidades de agua se demuestran con los estudios hechos por los colegios agrícolas estatales. Como ejemplo, la Circular núm. 180 de Mississippi hace notar que se necesitan de 12 a 15 pulgadas de agua de riego para mantener en producción las pasturas perennes de verano durante toda una estación ordinaria. Un estudio efectuado en Kentucky indicó que se requiere un promedio de 6 pulgadas de agua por cada acre que haya que regar, y que si las presas se utilizan como fuentes de suministro de agua, deben tomarse las medidas necesarias para almacenar por lo menos 2 pulgadas de agua por acre para cada pulgada por acre que se use. Ese almacenaje adicional es necesario para compensar las pérdidas por evaporación, filtración y otras.

A menudo ocurren graves escaseces de agua en las estaciones de crecimiento en muchas partes de las áreas húmedas. Sólo unas cuantas granjas cuentan con arroyos, estanques o pozos en los que pueda confiarse para que suministren los riegos cuando más se necesitan. Esto no quiere decir que los arroyos no lleven agua suficiente durante el año, sino que en la época de mayor abundancia la demanda ordinariamente es menor, y cuando los suministros son menores o cuando cesan por completo, la demanda de riegos puede ser mayor. Las escaseces de estaciones son los factores principales que afectan la posibilidad de los riegos suplementarios.

Si los depósitos de las granjas son lo suficientemente grandes para cubrir las necesidades máximas de riegos y están situados debidamente, ofrecen un medio de solucionar el problema de los suministros de agua; pero para que representen una solución práctica, el costo del agua almacenada en un depósito de granja, incluyendo el de su construcción, debe ser lo suficientemente bajo para hacer que resulte económicamente factible para el agricultor el emplearlo para riegos. Los costos de construcción de esos depósitos dependen de la localidad, capacidad, altura y largo de los rellenos, áreas de desagüe y otros factores. Antes de decidir la construcción de un depósito de agua el agricultor debe considerar otras fuentes alternativas de la misma.

EL EMPLEO de rociadores para los riegos suplementarios ha aumentado rápidamente en los estados húmedos. En 1949 se informó que 2,084 granjas en Florida usaban rociadores, y que en los otros 28 estados húmedos (omitiendo Arkansas y Louisiana), 5,469 granjas contaban con riegos por aspersión. En Arkansas y Louisiana, en donde se inundan los arrozales, sólo 76 granjas empleaban rociadores. En Florida se usaban rociadores en el 34% de todas las granjas de riego mencionadas en el Censo de 1950, y en los 28 estados se regaba con rociadores un 78%. Igualmente, de todas las tierras de granja regadas en 1949, se regaba con rociadores el 22% en Florida y el 72% en los otros 28 estados húmedos. El número de acres por granja regados con rociadores en 1949 fue de 38 en Florida y de 20 en los otros 28 estados húmedos.

Ordinariamente las cosechas de gran valor son las primeras que reciben riegos suplmentarios. Han aumentado los riegos en los pastos, especialmente en el Sur. En Florida se riegan extensamente las cosechas de legumbres, las flores, los bulbos, las frutas cítricas y el tabaco de sombra, y en los demás estados del Sur, la Nueva Inglaterra y los estados centrales del Atlántico, se riegan también las legumbres y las cosechas de mercado. Algunos agricultores de Virginia y de las Carolinas están regando el tabaco de hoja brillante, y en Kentucky se emplean rociadores en forma limitada para regar tabacos burley. En los estados del medio

Mano de obra necesaria y costos de riego por acre basados en el empleo de sistemas de aspersión (rociadores pequeños y medianos) en el Colegio del Estado, Missouri.

[Cada aplicación consiste de 2 pulgadas, sin que se haya hecho ningún cargo por el agua.]

Cosecha	*Costo de equipo* [1] *por acre al año*	*Horas hombre por acre*	*Costo de mano de obra* [2]	*Combustible*	*Total*
Maíz:					
Primer riego	$12.50	4.5	$2.25	$1.60	$16.35
Segundo riego		6.5	3.25	.60	4.85
Tercer riego		6.5	3.25	1.60	4.85
Total	12.50	17.5	8.75	4.80	26.05
Algodón:					
Primer riego	10 00	4.0	2.00	1.60	13.60
Segundo riego		4.5	2.25	1.60	3.85
Tercer riego		4.5	2.25	1.60	3.85
Total	10 00	13.0	6.50	4.80	21.30
Pasturas:					
Primer riego	8.75	4.0	2.00	1.60	12.35
Segundo riego		4.0	2.00	1.60	3.60
Tercer riego		4.0	2.00	1.60	3.60
Cuarto riego		4.0	2.00	1.60	3.60
Quinto riego		4.0	2.00	1.60	3.60
Total	8.75	20.0	10.00	8.00	26.75

[1] Costos de equipo basados en $ 100 por acre para el maíz, $ 80 por acre para el algodón y $ 70 por acre para pasturas, con un periodo de vida de 10 años y un tipo de interés de 2.5% anual.

[2] El costo de la mano de obra era de 50 centavos por hora.

Selección y uso de equipo de riego en Mississippi. Circular núm. 181, Estación Agrícola Experimental de Mississippi, Colegio del Estado, Mississippi, marzo de 1953.

Oeste se emplean riegos suplementarios para producir legumbres y cosechas de mercado en la proximidad de las grandes ciudades. En muchos estados del área húmeda se riegan también pequeñas superficies de cosechas especiales, tales como maíz dulce, fresas, otras frutas pequeñas y materiales de vivero.

Los costos del riego en las granjas varían con el número de acres que hay que regar, la cercanía a los suministros de agua, la altura de bombeo, la clase y costo de la energía, el tipo de sistema que se emplee, el número de riegos requeridos y otros factores. Los costos de riego incluyen anualmente los cargos por concepto de la inversión necesaria para el equipo y para el suministro de agua, costos de operación y mantenimiento y costos adicionales de mano de obra que puedan relacionarse con el empleo de riegos suplementarios.

El costo inicial de la instalación de los sistemas de aspersión variaba en 1951, en Wisconsin, de 75 a 100 dólares por acre, cuando se usaba en una sola cosecha. El costo de aplicar una pulgada de agua de riego incluyendo mano de obra, energía, gastos generales y depreciación, variaba de 2.50 a 5 dólares.

En otro estudio efectuado en la estación experimental de Dixon Springs, Illinois, el costo de riego de 5 acres (a una proporción de riego de 2 pulgadas por aplicación o un total de 7 pulgadas de agua) era de 37.80 dólares por acre en 1949.

En 1951, en Kentucky, 16 agricultores hicieron inversiones de 875 a 9,000 dólares para equipos portátiles de riego. Los

Rendimiento adicional, Costo e ingresos netos por acre con riegos suplementarios.

			Aumento debido a riegos				Estimación del costo de riegos			
Estado	*Año*	*Cosecha*	*Unidad*	*Rendimiento por acre* [1]	*Precio*	*Valor*	*Pulgadas de agua por acre* [1]	*Costo por acre-pulgada* [2]	*Total por acre*	*Aumento neto en valor por acre*
Georgia	1953	Maíz	Bushel	64	$1.50	$96.00	7	$4.85	$34.00	$62.00
		Tomates	Tonelada	6	27.50	165.00	6	5.25	31.50	133.50
		Algodón								
		Fibra	Libra	295	.33	109.85	10	4.15	41.50	68.35
		Semilla	Libra	502	.025					
		Batatas	Bushel	140	3.15	441.00	10	4.15	41.50	399.50
		Sorgo de Grano	Bushel	22	1.40	30.80	3	7.83	23.50	7.30
Virginia	1953	Tabaco	Libra			316.00	7	4.85	34.00	282.00
		Maíz	Bushel	92	1.70	156.40	7	4.85	34.00	122.40
		Pasturas-leche	Avoirdupois	25.5	5.50	140.25	11	4.00	44.00	96.25
Missouri	1953	Maíz	Bushels	43	1.45	62.35	5.5	5.50	30.25	32.10
		Frijol soya,[9]	Bushel	14	2.50	35.00	4.7	6.00	28.20	6.80
		Algodón								
		Fibra	Libra	745	.33	277.57	7.5	4.70	35.25	242.32
		Semilla	Libra	1,269	.025					
Tennessee	1953	Pasturas, forrajes en bruto	Libras	153	1,12	171.36	21	3.28	69.00	102.36
Massachusetts	1949	Heno	Tonelada	1	29.00	29.00	6	4.83	29.00	
Long Island, New York [4]	1946	Papas	Bushel	57	1.27	72.39	2.8	7.65	21.43	50.96
Pennsylvania [5]	1949	Papa, tabaco, manzanas, heno y pasturas					4.6	13.49	61.64	
Wisconsin [6]	1946	Papas	Bushel	100	1.27	127.00	3.0	6.66	[7] 20.00	67.00

1 Datos de 1953, tomados del Informe Anual para 1954 de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de tierras y aguas del Servicio de Investigaciones Agrícolas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.

2 Costos de 1953, calculados sobre la base de costos totales de $ 16.50 por acre y costos de operación de $ 2.50 por acre por pulgada de agua. Los costos totales anuales calculados asumen el uso del equipo cada año.

3 Datos de investigación de la Nueva Inglaterra, febrero de 1951. Consejo de Investigación de la Nueva Inglaterra sobre Mercados y Suministros Alimenticios.

4 Costos y prácticas de riego de las papas en el Condado de Suffolk. New York, 1946. Boletín núm. 862 de la Estación Agrícola Experimental de Cornell, 1950. El aumento en rendimiento por acre corresponde al periodo 1938-45.

5 Los riegos en las granjas de Pennsylvania. Boletín núm. 562 de la Estación Agrícola Experimental de Pennsylvania, 1953.

6 Los riegos en Wisconsin y Michigan. Información económica para los agricultores de Wisconsin, octubre de 1947.

7 Los agricultores que emplearon riegos tupieron costos adicionales de $ 15.00 para fertilizantes, $ 16.00 para semilla, y $ 9.00 para aspersiones y otros costos.

costos fijos anuales de esos sistemas variaban de 94 hasta 856 dólares. Los costos fijos por pulgada-acre variaban de 25.82 dólares en un sistema que se usaba muy poco hasta 66 centavos en otro sistema que se usaba casi a su máxima capacidad. La mano de obra era un valor primordial que influenciaba la variación de los costos, siendo aproximadamente de 2 a 5 dólares por pulgada-acre de agua aplicada. Cuando se empleaban de 4 a 5 pulgadas de agua en 3 aplicaciones de 1.5 pulgadas cada una en una superficie de 20 a 25 acres, con una inversión de 3,000 dólares, los costos fijos eran, aproximadamente, de 2.75 dólares por pulgada-acre, y los costos variables eran, aproximadamente, de 3.25 dólares.

Un informe rendido en Michigan en 1953 indicó que el costo de suministro de un equipo portátil de aspersión con tuberías de acoplamiento rápido, variaba, aproximadamente, de 60 a 200 dólares por acre, dependiendo del tamaño del sistema y del número de acres que se regaran.

Una vez que se hace una inversión en un sistema de riego, los costos anuales fijos y variables constituyen la principal preocupación del operador. El total de los costos fijos depende de la importancia de la inversión y de los cálculos hechos para cubrir intereses y depreciación. El informe de Michigan sugirió un tipo de interés de 3% sobre la parte pagada de la inversión, con un promedio de vida de 10 a 15 años, señalándose un cargo anual de 3% del costo de la inversión para reparaciones, y otro 1% del valor total para cubrir impuestos a la propiedad y costos de almacenamiento. Se calculó que los costos fijos anuales variarían entre el 14 y el 17% del costo de la inversión inicial.

Naturalmente, los costos de operación dependen del uso y los costos de energía dependen del tamaño. Las fuentes de energía y las necesidades de mano de obra varían también de acuerdo con muchos factores, incluyendo la frecuencia y proporción de aplicación, el espacio entre largueros, tipo del equipo y eficiencia del personal de trabajadores. Se calculó que en Michigan las necesidades de mano de obra para los riegos suplementarios variarían de 1 a 1.75 horas por cada acre regado bajo condiciones normales.

El riego en las regiones húmedas generalmente es productivo en años de sequía; pero en otros el mismo riego puede producir escasos beneficios, aumentando los rendimientos en un año, pero no en otros. Hay necesidad de datos que cubran una serie de años para probar los resultados en climas diferentes. Las aplicaciones de fertilizantes y otros factores de conservación afectan también los resultados obtenidos con los riegos suplementarios.

La tabla que se da al final muestra algunos de los resultados experimentales obtenidos con los riegos en varios estados y durante varios años. Para interpretar esos datos hay que recordar que 1953 fue un año muy seco y extraordinariamente favorable a los riegos en la mayoría de los estados, y que odinariamente se obtienen resultados más favorables bajo condiciones experimentales que los que puedan obtenerse en las condiciones existentes en las granjas. Los costos de riego de 1953 son aproximados y se hicieron asumiendo que el promedio total de costos sería de 16.50 dólares por acre y que los costos de operación serían en promedio de 2.50 dólares por pulgada-acre. Los costos totales anuales calculados, asumen que el equipo se usará cada año, y esos costos serán mayores, dependiendo

Efectos de los riegos en el algodón, Athenas, Georgia.

Año	Precipitación en junio, julio y agosto, Pulgadas.	Riegos Número	Riegos Pulgadas	(Rendimientos de algodón de semilla) Sin riegos Libras por acre	Con riegos Libras por acre
1949	12.05	2	3.00	1,155	1,286
1950	9.93	1	1.50	1,087	1,430
1951	12.37	3	4.00	2,165	2,528
1652	8.82	7	9.44	742	2,534
1953	6.25	6	9.91	934	1,731

del tiempo que el equipo permanezca listo para usarse cada año sin que se llegue a emplear. Igualmente, el aumento neto de valor sería menor que el de las cifras indicadas en la tabla.

Los datos de la tabla muestran la gran diversidad de resultados en los rendimientos y el aumento neto del valor de las diferentes cosechas en varias localidades. Por ejemplo, en los experimentos efectuados en Georgia en 1953, el aumento neto de valor por acre del sorgo de grano fue solo de 7.30 dólares, comparado con 399.50 dólares para las batatas. En Virginia, los riegos de pastos produjeron un aumento neto de valor de 96.25 dólares por acre, pero los riegos de tabaco produjeron un aumento de 282.00 dólares por acre. Los resultados sólo cubren un año y, por lo tanto, no reflejan necesariamente la productividad de los riegos sobre cierto número de años. Igualmente, como ya lo dijimos, se estimaron los costos empleados para calcular el aumento neto de valor. Por lo tanto, en las condiciones existentes en las granjas, esos valores serían probablemente menos favorables. Esos datos se presentan simplemente como una indicación de lo que puede esperarse de los riegos bajo condiciones establecidas o calculadas.

Aunque se reconoce generalmente el algodón como cosecha de climas secos, los riegos tuvieron buen efecto sobre los rendimientos en años secos en los experimentos efectuados en Athenas, Georgia. El rendimiento de algodón de semilla en 1952 fue de 742 libras por acre en tierras sin riegos, y de 2,534 libras en las parcelas con riegos. Las lluvias de junio, julio y agosto de 1952 produjeron 8.82 pulgadas de agua, y en 1953, cuando la lluvia en esos 3 meses sólo llegó a 6.25 pulgadas, con riegos que significaban, aproximadamente, 9.91 pulgadas (aproximadamente igual que el año anterior), el rendimiento de algodón de semilla fue de 934 libras en tierras sin riego.

En Alabama se llevó a cabo una serie de estudios de riego de parcelas que comenzó en 1938 y cubrió 11 años, a fin de apreciar los efectos de los riegos en cosechas de mercado y de legumbres con y sin el empleo de otras buenas prácticas agrícolas. Los tratamientos básicos consistían en la aplicación de aguas de riego, materias orgánicas y fertilizantes en proporciones diversas.

Los efectos acumulativos de la aplicación de prácticas intensas se demuestran con los resultados obtenidos en las papas irlandesas. El promedio de rendimientos durante un periodo de 4 años de tratamiento, según se informó en el Boletín núm. 276 de la Estación Agrícola Experimental de Alabama, fue como sigue: Sin tratamiento alguno, 28 bushels; con 500 libras de fertilizante por acre (6-10-4), 80 bushels; con 1,000 libras de fertilizante, 115 bushels; con 1,000 libras de fertilizante por acre y materias orgánicas, 162 bushels, y con 1,000 libras de fertilizante, materias orgánicas y riegos, 229 bushels. El experimento muestra el efecto del empleo de los riegos con otras buenas prácticas.

Los resultados de los experimentos demostraron que los riegos causan un marcado incremento en los rendimientos en ciertos años y muy poco o ninguno en otros. En algunos años los rendimientos fueron menores con riegos que sin ellos. El efecto de los riegos estuvo más estrechamente relacionado con la distribución de las lluvias que con la cantidad total de ellas durante la vida de la cosecha. Los riegos mejoraron las clases y calidades y produjeron mayores rendimientos de productos vendibles.

Los riegos se están convirtiendo en parte integrante de la agricultura en las áreas húmedas de nuestro país. Los trabajos experimentales y la experiencia de muchos agricultores han comprobado que los riegos suplementarios producirán rendimientos adicionales de cosechas y pasturas en las áreas húmedas en la mayoría de los años.

La incógnita económica de si el desembolso adicional aumentará las entradas de las granjas en cantidad suficiente para justificar los costos más elevados es muy incierta, ya que las utilidades y los costos varían grandemente de una granja a otra, y cada agricultor necesita evaluar su propia situación; pero, aparentemente, es probable que las ventajas excedan a las desventajas en un número creciente de granjas. Esto significa que existe la probabilidad de que continúen aumentando

los riegos en el Este, probablemente en forma rápida, si los precios de los productos de granja son elevados, o más lentamente si los precios son menores.

MAS M. THARP *es subjefe de la Sección de Investigaciones de Campo del Sudeste de la Rama de Investigaciones Económicas y de Producción del Servicio de Investigaciones Agrícolas.*

C. W. CRICKMAN *es subjefe de la Sección de Investigaciones de Campo del Norte de la Rama de Investigaciones Económicas y de Producción del Servicio de Investigaciones Agrícolas.*

Los métodos de riego superficial

John T. Phelan y Wayne D. Criddle

HAY TRES MÉTODOS generales para aplicar el agua de riego a la tierra.

En los riegos superficiales el suelo es el depósito de donde las plantas obtienen el agua que necesitan. Ese mismo suelo transporta y distribuye también el agua sobre los campos.

En los riegos por aspersión el agua se transporta sobre los campos por medio de tuberías y la tierra actúa como depósito de almacenamiento.

En los riegos subterráneos el agua fluye de debajo de la tierra y el agua capilar se eleva hacia su superficie para llenar las necesidades de las cosechas.

Los riegos superficiales, de los que trata este capítulo, incluyen los métodos generales de riegos de inundación y de surco, así como de corrugación.

En los riegos de inundación se permite que el agua cubra la superficie de la tierra en una capa continua. Teóricamente el agua debe cubrir todos los puntos de un campo sólo durante el tiempo suficiente para que la tierra pueda absorber la cantidad de agua necesaria para llenar la zona de raíces; pero bajo condiciones prácticas de campo es muy difícil llenar por completo esos requisitos teóricos, ya que ordinariamente al nas artes de los campos reciben demasiada agua cuando el total de ellos recibe una cantidad adecuada. Sin embargo, si el tamaño de la corriente de riego queda en equilibrio con la proporción de absorción de la tierra, con la profundidad total de agua que se almacena en la zona de raíces y con el área que tenga que cubrir la corriente, se obtendrán resultados razonablemente uniformes y eficaces.

LOS RIEGOS DE INUNDACIÓN comprenden varios métodos: Riegos de fajas de bordos, de cuencas, de contornos o bordos de banco, inundaciones de zanjas de contorno e inundaciones sin control y de zanjas de bordos.

El objeto de los riegos de fajas de bordos es hacer que una capa de agua avance a lo largo de una faja angosta de tierra entre bordos bajos y que el agua penetre en la tierra a medida que avanza esa capa. La faja debe estar bien nivelada entre los bordos y su declive debe ser bastante uniforme para evitar que se estanque el agua. Los bordos deben ser bajos y redondeados de modo que puedan sembrarse juntamente con las fajas, a fin de que no se desperdicie tierra productiva.

El riego con fajas de bordos se adapta bien a todas las cosechas que crecen muy juntas y se emplea en algunas cosechas de surcos, tales como el algodón. El heno y los granos pueden regarse en declives uniformes hasta de 3%.

Las pasturas ya establecidas pueden regarse en declives uniformes hasta de 6%. Este método puede usarse en tierras de contextura áspera o fina y permite emplear sin riesgo grandes corrientes de agua. Sus requisitos, por lo que hace a mano de obra y tiempo, son muy bajos y permite obtener una humedad uniforme y una utilización eficiente del agua.

El riego de cuenca se adapta especialmente a tierras planas, y consiste en llenar rápidamente de agua una área provista de diques hasta la profundidad deseada, dejando que el agua se filtre en la tierra. Es aconsejable para las cosechas que crecen muy juntas y los huertos con tierras de contextura media o áspera, y para el arroz que se cultiva en tierras de contextura fina ue son lentamente permeables.

Cuando las cuencas están debidamente conformadas y se construyen del tamaño apropiado para la clase de tierra y suministros de agua, ésta puede aplicarse en forma eficiente, pudiendo controlarse los depósitos de álcali.

Los riegos de contorno o de bordos de banco se adaptan a declives moderados y bastante uniformes con tierras profundas. Las fajas de bordos se construyen a través del declive con una pendiente controlada y con bordos paralelos unos a otros. Si las fajas se construyen en un declive, funcionan en la misma forma que las fajas de riego de bordos, y si son cortas y planas se asemejan a los riegos de cuenca.

Las inundaciones de zanjas de contorno se emplean a menudo en cosechas que crecen muy juntas en tierras en declive u onduladas en las que no puede llevarse a cabo la nivelación necesaria para otros métodos de riego. El agua se desborda hacia abajo de la pendiente entre zanjas de campo espaciadas a corta distancia y que corren a lo largo del contorno de la tierra. Las zanjas evitan que el agua se concentre y produzca erosión. Es posible obtener una humedad bastante uniforme, pero los costos de mano de obra de este tipo de riegos son bastante altos, y en general no debe usarse este método si puede emplearse algún otro que sea más deseable.

En las inundaciones sin control, la corriente de agua se desvía de su curso y se deja que se extienda al azar sobre la tierra. No es de recomendarse, porque las partes bajas de un campo recibirán mucha agua y las partes altas no recibirán ninguna.

Se usa el método de zanjas de bordos en algunas de las áreas de riego más antiguas del Oeste, pero generalmente no se recomienda. Se abren zanjas paralelas a una distancia de 25 a 200 pies a lo largo de los campos en dirección del declive de la tierra. Las fajas de tierra entre las zanjas se riegan desviando el agua a intervalos de cualquier lado de ellas. Este método utiliza el agua y la mano de obra en forma poco eficiente. A menudo las zanjas se desgastan en las pendientes más pronunciadas y depositan sedimentos en las partes más planas, retiran de la producción una área considerable de tierra y actúan como viveros de hierbas para el resto del campo.

El riego de surcos es el método más común para aplicar el agua a las cosechas de hilera. El agua se aplica en surcos entre las hileras de plantas, y a medida que corre hacia abajo de las hileras se absorbe una parte de ella a todo lo largo del surco y se mueve a través de la tierra para llenar los depósitos de almacenamiento de humedad del suelo debajo de las plantas que se encuentran creciendo. Se adapta a todas las cosechas de hilera, cosechas de mercado, huertos, viñedos y plantíos de bayas en los declives poco acentuados de toda clase de tierras, con excepción de las más ásperas.

El cultivo de los surcos para controlar las hierbas mantiene suelta la tierra. Cuando los surcos corren hacia abajo del declive, puede ocurrir una grave erosión a menos que se controle cuidadosamente el flujo de la corriente.

El riego de surcos generalmente es costoso desde el punto de vista del tiempo y de la mano de obra; pero cuando se maneja en forma adecuada es bastante eficiente para la utilización del agua.

El riego de surcos de contorno es una adaptación del de surcos, y en él los surcos se abren a través del declive en una pendiente seleccionada cuidadosamente. Una disminución de la pendiente de los surcos los hace mucho menos susceptibles a la erosión causada por las aguas de riego y de las lluvias.

El riego de corrugación se adapta bien a las cosechas que crecen muy juntas en tierras onduladas y en declive y en aquellas que son lentas para absorber el agua. El agua se aplica por medio de pequeños surcos que corren hacia abajo del declive desde la zanja principal. El propósito de los surcos no es precisamente transportar la corriente de agua, sino simplemente guiarla, pudiendo ocurrir cierto desbordamiento entre surcos El riego de corrugación es adecuado para tierras de contextura fina que absorben el agua lentamente y que tienden a cerrarse e impermeabilizarse cuando se inundan. Proporciona humedad uniforme y evita la acu-

mulación de agua que cause erosión en tierras demasiado onduladas o pendientes para riegos de bordos o de cuencas y utiliza pequeñas corrientes de riego, pero es relativamente costoso en mano de obra.

SE NECESITA UN SISTEMA de distribución de granjas para transportar el agua de riego a los diversos campos desde el punto en que el agua queda disponible en cada granja. Ese sistema debe diseñarse para que pueda transportar la cantidad de agua suficiente para llenar las necesidades de las cosechas de cada campo sin causar erosión, permitiendo una aplicación eficiente. Debe disponerse de acuerdo con las buenas prácticas de manejo de granjas y debe incluir las facilidades necesarias para la transportación y regulación de la corriente de riego, así como los caminos y desagües necesarios, y tiene que localizarse en tal forma que interfiera lo menos posible con las actividades de siembra, labranza y recolección.

LAS ZANJAS ABIERTAS son los medios que se emplean comúnmente para transportar el agua de riego. En muchas áreas se construyen y se mantienen permanentemente las zanjas de cada campo, que forman los linderos de cada uno de ellos y que tienen estructuras permanentes de transportación y control. A menudo se siembran sus orillas con hierbas perennes para controlar las hierbas y proporcionar una estabilidad adicional. Tienen generalmente fondos planos y los declives laterales pueden ser en proporción de 1.5 a 1, o más planos, debiendo mover la corriente a una velocidad que no cause erosión. Las velocidades admisibles pueden ser hasta de 6 pies por segundo en arcilla esquistosa y capas sólidas, o tan lenta como de 1.5 pies por segundo en tierras finas.

En áreas donde los requerimientos estacionales son bajos y sólo se necesitan uno o dos riegos, es a menudo aconsejable utilizar zanjas temporales para la distribución del agua en los campos. Esas zanjas se construyen con implementos especiales de labranza, pueden tener fondos planos o redondeados o una sección en V.

En tierras de contextura mediana y fina, los declives laterales tienen a veces que ser muy pronunciados para disminuir el ancho total de la zanja y facilitar la instalación de retenes temporales u otras estructuras. Esas zanjas se abren después de que ha terminado la estación de riegos como medida de control de las hierbas y para remover las obstrucciones a las operaciones de recolección.

Las zanjas temporales se usan también para llevar el agua desde las orillas de los campos a los surcos o bordos individuales. Ordinariamente se instalan después de que se siembra la cosecha, se usan durante la estación de riegos y se remueven antes de la recolección.

ORDINARIAMENTE se necesitan estructuras de transportación de varios tipos en las zanjas para suministrar agua a la altura deseada en cada campo. A menudo una área baja que se encuentra entre el suministro de agua y la parte más elevada de un campo requiere el uso de canales o sifones invertidos para transportar el agua a través de la hondonada o pantano. Esas estructuras permanentes deben diseñarse y construirse en forma adecuada para que llenen su propósito y no necesiten un mantenimiento excesivo.

Cuando se encuentra cualquier depresión pequeña, a menudo se coloca sobre ella un relleno de tierra compacta y la zanja se abre en su superficie. El agua de desagüe puede llevarse de un lado del terraplén al otro por medio de alcantarillas colocadas en la parte inferior de la zanja de riego. Aunque esas instalaciones son relativamente económicas en su construcción, presentan problemas de mantenimiento y están sujetas a daños causados por los roedores y animales que cavan túneles.

Cuando las zanjas se construyen a través de tierras porosas, la pérdida de agua de riego puede ser considerable, debido a la filtración. En ese caso las zanjas permanentes tendrán que revestirse con materiales menos permeables, tales como arcillas o bentonitas. Las zanjas pueden revestirse también con cemento o concreto asfáltico y pueden sellarse por medio de una membrana delgada y flexible. Los revestimientos de membranas se entierran ordinariamente unas cuantas pulgadas debajo de las superficies de las zanjas, para protegerlos contra daños mecánicos.

Las partes más importantes de cualquier sistema de distribución de granjas son las estructuras de paso que permiten el movimiento de maquinaria, productos y ganado a través de las corrientes de riego. A menudo pueden formar parte de otras estructuras y a veces se construyen alcantarillas o puentes.

LAS ESTRUCTURAS de control que se colocan en las zanjas abiertas pueden ser de muchos tipos. Su función consiste en medir el flujo, proporcionar un medio de desviar el agua de las zanjas o de permitir que el agua baje sin riesgo de una altura a otra menor.

Para hacer una debida aplicación del agua, el encargado de riegos debe conocer el tamaño de la corriente que está empleando. Los implementos de medición deben formar parte del sistema de distribución y deben permitir al agricultor que determine el flujo que se entrega en cualquier punto de su granja. A menudo se usan canalones Parshall o compuertas para este fin. A veces se calibran otras estructuras del sistema, a fin de que se puedan hacer cálculos precisos del flujo.

Las estructuras de control de agua pueden clasificarse en cajas de desviación, desagües y retenes. Las cajas de desviación se emplean cuando una corriente se divide en dos o más laterales, y pueden tener compuertas para controlar el flujo o carecer de ellas. Los desagües proporcionan un medio de suministrar agua de las zanjas al área que va a regarse o a otra zanja temporal. Los retenes son represas ajustables que se colocan en las zanjas de riego para proporcionar un medio de controlar la profundidad del agua que manejan los desagües. A menudo es conveniente la instalación de estructuras que lleven a cabo dos o más funciones.

Las zanjas permanentes se equipan ordinariamente con estructuras también permanentes o semipermanentes de concreto, de albañilería, de madera o de metal. Las zanjas temporales tienen ordinariamente estructuras portátiles que pueden instalarse o removerse rápidamente según sea necesario.

Los tubos de sifón o descargas se emplean a menudo para suministrar agua de las zanjas temporales. Los tubos que transportan el agua sobre los bordos de las zanjas mediante una acción de sifón, se construyen de una gran variedad de materiales y en muchos tamaños. Los tubos pequeños pueden suministrar tan poca cantidad de agua como un galón por minuto, mientras que los más grandes pueden suministrar dos pies cúbicos por segundo. Las descargas o tubos que se colocan a través de los bordes de las zanjas se producen también comercialmente para una gran variedad de flujos.

Una represa de retención temporal de tipo común se construye con una lámina flexible de plástico o con un trozo de lona, sujetos a una varilla o vigueta de sostén. La represa se coloca a través de la zanja en tal forma que la varilla o vigueta descanse en los bordos de la misma y el material plástico o la lona se entierran en los lados y fondo de la zanja corriente arriba. Ordinariamente esas estructuras temporales pueden ajustarse de manera que permitan que una parte del flujo corra hacia abajo a través de una manga o sobre la parte superior de la represa. Otros tipos de retenes temporales se construyen con láminas metálicas, tubos, tela o cualquier combinación de esos materiales.

Las zanjas abiertas deben transportar el flujo necesario de agua sin ningún rozamiento. A menudo se necesitan estructuras para el control de la erosión, a fin de disminuir el declive de las secciones de zanjas. Esas estructuras se hacen de muchas formas y materiales. Un tipo común consiste en una abertura de compuerta dotada de un delantal a nivel más bajo que haga que el agua caiga verticalmente para disminuir su velocidad en la zanja de tierra hasta un límite seguro. Otras consisten de secciones revestidas de zanjas en los declives más acentuados, llamadas a menudo caídas, o de tubos enterrados que disminuyen el volumen del agua. Independientemente de su tipo, esas estructuras tienen que ser capaces de transportar el flujo de agua requerido y permitir la disipación de la energía del agua que cae antes de que entre a las secciones de zanjas de tierra corriente abajo.

Ordinariamente las tuberías son más costosas para instalar, pero tienen muchas ventajas sobre las zanjas abiertas.

Pueden usarse tuberías para transportar el agua por gravedad o bajo presión a través de una depresión o a una altura mayor, y son indispensables cuando se necesita presión para hacer funcionar el sistema.

Las tuberías permanentes ordinariamente se entierran y están dotadas de los hidrantes necesarios, válvulas de desahogo y otros accesorios para controlar el agua y proteger las tuberías. Las líneas permanentes se fabrican comúnmente con tubería de concreto, barro asbesto-cemento o acero, y se han popularizado las tuberías de plástico y de aluminio.

Las tuberías superficiales portátiles o las mangueras, constituyen un buen método de transportación de agua a los campos o a los bordos individuales, cuencas o surcos. Se fabrican generalmente con materiales ligeros, acero, aluminio, plásticos o lona y a menudo están dotadas con accesorios patentados de acoplamiento para facilitar su conexión. Pueden fabricarse con pequeñas compuertas ajustables que permiten la descarga de una corriente pequeña en cada surco individual.

Las tuberías tienen que planearse cuidadosamente para llenar las necesidades de la cosecha, adaptarse a las condiciones del sitio y proporcionar una instalación y funcionamiento económicos. Como eliminan las pérdidas por filtración y evaporación y proporcionan un excelente control del agua, se prefieren en muchas áreas donde el agua es escasa o costosa.

EL DISEÑO Y MANEJO del sistema necesita una planeación cuidadosa en lo relativo a tierras y topografía, proporciones de admisión y capacidades de retención de agua de las tierras, cantidad de agua que puede manejarse en cada surco o faja de bordos sin producir erosión, y las relaciones entre la longitud de los flujos y el tamaño de las corrientes de riego para obtener la cantidad apropiada de agua y la distribución de humedad en la zona de raíces.

Los riegos excesivos no sólo desperdician el agua, sino que también deslíen las sustancias nutritivas solubles en el agua y las dejan fuera del alcance de las plantas. Los riegos demasiado abundantes en las tierras altas, a menudo causan la saturación de las ricas tierras bajas, y generalmente sólo puede corregirse esa situación mediante un costoso sistema de desagües y de recuperación.

El aplicar el agua de riego a las cosechas sin causar erosión en la tierra es un serio problema. Generalmente la mejoría de la fertilidad y de la estructura de la tierra ayuda a absorber más rápidamente el agua. A medida que aumenta la proporción de absorción deben suministrarse mayores corrientes de agua a los surcos y bordos a fin de obtener un riego uniforme. Aun cuando puede disminuirse la erosión mediante un buen manejo de la tierra, el efecto de las mayores corrientes es más perjudicial que el de esos beneficios. Esto hace que las características de la tierra que influencian los métodos de riego no sean estables. Las condiciones cambian de año en año con las prácticas de cosecha, y aun de un riego a otro en una sola estación.

Teóricamente sería deseable cambiar el esquema de irrigación de un campo en cada riego sucesivo para obtener una eficiencia máxima. Desde un punto de vista práctico no es posible el continuo cambio en la longitud de los flujos y en el espaciamiento de los surcos. Por lo tanto, el ingeniero de riegos debe escoger prácticas seguras y razonables de acuerdo con las condiciones del sitio, teniendo en cuenta todos los factores que puedan influenciarlas, la magnitud de los cambios que puedan ocurrir en toda la estación y el periodo de rotación de cultivos.

Se dan a continuación algunas sugestiones para el diseño y tamaño de la corriente que son generalmente más deseables.

LOS DISEÑOS DE SURCOS y corrugaciones se manejan conjuntamente, porque ambos están diseñados generalmente para llevar el agua de un extremo del campo al otro.

El tamaño de las corrientes que pueden permitirse en tierras en declive depende grandemente de la pendiente que tengan los surcos. La relación general del máximo de corriente en el surco y de pen-



diente aconsejable, es $Q = \frac{10}{S}$, en la cual Q es el máximo de corriente de surco que no produce erosión en galones por minuto y S es el declive del surco en porcentaje.

Por lo tanto, si la pendiente del surco es de 0.2%, el surco puede llevar 50 galones por minuto sin causar erosión considerable. Con una pendiente de 2% el surco puede transportar sin riesgo sólo 5 galones por minuto.

Los problemas de la erosión no serán un factor apreciable en los declives más planos, ya que la capacidad de transportación del surco limita el tamaño de la corriente que pueda llevar.

La tolerancia máxima de la longitud del flujo depende de varios factores, incluyendo la tolerancia máxima del tamaño de la corriente, la proporción en que la tierra absorbe el agua y la cantidad de agua que se almacena en cada riego. Estos dos últimos factores varían especialmente en toda la estación. Las tablas al final de este capítulo dan los valores que se sugieren para condiciones normales.

A veces puede variarse dentro de ciertos límites el espaciamiento de los surcos y corrugaciones. Un espaciamiento mayor de 30 pulgadas generalmente no es aconsejable en la mayoría de las cosechas anuales, porque la zona de raíces es sumamente limitada durante gran parte de la estación. Naturalmente, muchas cosechas de surco se cultivan a distancias mayores, lo que determina el espaciamiento de los surcos.

En general, mientras más áspera es la tierra, deben espaciarse más estrechamente las corrugaciones para obtener un riego eficiente; pero los espacios menores de 15 pulgadas rara vez son prácticos para construir y conservar.

El control del flujo de los surcos laterales de campo a los surcos y corrugaciones individuales, se obtiene ordinariamente por medio de sifones, descargas o cortes abiertos en los bordos. Sin embargo, para obtener riegos eficientes y sin riesgo, se necesitan controles positivos. Las corrientes de surcos de varios tamaños no aplican el agua de modo uniforme y las corrientes mayores pueden producir una erosión excesiva.

El diseño de las fajas de bordos depende de la proporción de absorción de la tierra, el declive y la profundidad de las aplicaciones.

El tamaño de las fajas de bordos no debe ser mayor que lo que pueda cubrir uniformemente la corriente máxima aconsejable o disponible durante el periodo de riegos sin pérdidas excesivas. El ancho queda regulado en gran parte por el declive de la tierra y la cantidad de agua que puede pasar sin riesgo a través de los desagües a las fajas. Su longitud queda limitada por el tamaño de la corriente que pueda fluir sin causar erosión por unidad de ancho de la faja.

Por ejemplo, con declives de 0.5% puede emplearse sin riesgo un flujo de 0.1 de pie cúbico por segundo por pie de ancho de la faja de bordo, y con un declive de 2.0%, ese valor disminuye aproximadamente a 0.035. Por lo tanto, es posible una mayor longitud (largo de la faja de bordo) en los declives más planos.

Son muy importantes la altura y forma de los diques de bordos. Un error común consiste en construir los diques demasiado bajos para controlar el flujo. Los diques deben de ser más altos en los declives más planos que en los más escarpados. Ordinariamente la base del dique debe de ser amplia, de modo que puedan llevarse a cabo las operaciones de labranza sobre el mismo. Rara vez deben ser más pendientes los lados del dique que en proporción de 2 horizontal a 1 vertical. Por lo tanto, en la tierra más escarpada donde la altura mínima de un

Relación de los riegos de bordos con varias tierras, declives y profundidades de aplicación.

Contextura de la tierra	Pendiente de la tierra Por ciento	Profundidad de aplicación Pulgadas	Tamaño sugerido de la faja de bordos		Tamaño de la corriente de riego Pies cúbicos por segundo
			Ancho Pies	Largo Pies	
Gruesa	0.25	2	50	500	8.0
		4	50	800	7.0
		6	50	1,320	6.0
	1.00	2	40	300	2.75
		4	40	500	2.50
		6	40	900	2.50
	2.00	2	30	200	1.25
		4	30	300	1.00
		6	30	600	1.00
Mediana	0.25	2	50	800	7.0
		4	50	1,320	6.0
		6	50	1,320	3.5
	1.00	2	40	500	2.5
		4	40	1,000	2.5
		6	40	1,320	2.5
	2.00	2	30	300	1.0
		4	30	600	1.0
		6	30	1,000	1.0
Fina	0.25	2	50	1,320	4.0
		4	50	1,320	2.5
		6	50	1,320	1.5
	1.00	2	40	1,320	2.5
		4	40	1,320	1.25
		6	40	1,320	0.75
	2.00	2	30	660	1.0
		4	30	1,320	1.0
		6	30	1,320	0.67

dique es de 3 pulgadas, la base necesitaría tener, por lo menos, 18 pulgadas de ancho. En tierras más planas donde se necesita un dique de 6 pulgadas, el ancho mínimo de la base del dique sería, aproximadamente, de 36 pulgadas.

Debidamente construidos los diques permiten que las cosechas crezcan sobre ellos, controlando al mismo tiempo el flujo del agua durante los riegos.

El tamaño de la corriente de riego depende de la tierra, tamaño de las fajas de bordos y profundidad de aplicación. Las tierras con elevadas proporciones de absorción requieren corrientes mayores, a fin de que el agua corra rápidamente sobre la tierra si se quieren evitar pérdidas excesivas por filtración. En forma semejante deben usarse grandes corrientes en los riegos poco profundos. Las corrientes pequeñas son deseables para aplicaciones profundas.

La tabla al final de este capítulo sugiere la relación entre el tamaño de la corriente que se necesita para regar las fajas de bordos de varios tamaños bajo diferentes condiciones de sitio.

El control del flujo en las fajas de bordos puede hacerse por medio de cortes abiertos en los bordes de las desviaciones laterales de campo, por medio de desagües abiertos o de tubo, o por medio de sifones sobre los bordos. En tierras sueltas y arenosas y en lugares donde se desean grandes flujos, han resultado

Relaciones de los riegos de surcos con varias tierras, pendientes y profundidades de aplicación.

Contextura de la tierra		Gruesa				Mediana				Fina			
Pendiente de surcos	*Máximo aconsejable de flujo en pies*	*Profundidad de Riego*											
		2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
Porciento	*Galones por minuto*	*Máximo aconsejable de longitud de flujo en pies*											
0.25	40	500	720	875	1.000	820	1.150	1.450	1.650	1.050	1.500	1,750	2,140
0.50	20	345	480	600	680	560	800	975	1.120	730	1,020	1,250	1,460
0.75	13	270	380	480	550	450	630	775	900	580	820	1,000	1,150
1.00	10	235	330	400	470	380	540	650	760	500	750	850	990
1.50	7	190	265	330	375	310	430	530	620	400	570	700	800
2.00	5	160	225	275	320	260	370	450	530	345	480	600	675
3.00	3	125	180	220	250	210	295	360	420	270	385	470	550
5.00	2	95	135	165	190	160	225	270	320	210	290	350	410

de utilidad los sifones que pueden descargar hasta 2.0 pies cúbicos por segundo. Esos sifones requieren el empleo de una bomba para cebarlos, pero son relativamente fáciles de manejar y de acción positiva. La inversión necesaria para adquirir una cantidad adecuada de sifones para regar un extenso campo es relativamente pequeña comparada con el costo de construcción de desagües permanentes. El empleo de sifones permite que la zanja principal permanezca abierta, a fin de que pueda limpiarse fácilmente por medio de máquinas en vez de a mano.

Los riegos de cuenca dependen del empleo de áreas relativamente pequeñas y niveladas, rodeadas de diques de altura suficiente para almacenar la deseada profundidad de agua en la tierra. La corriente de riego debe ser lo suficientemente abundante para llenar rápidamente una cuenca, desviándose luego a la siguiente.

A menudo los diques de cuenca son más altos y más escarpados que los que se usan en los riegos de bordos, ya que no es muy común el cultivo sobre ellos.

El tamaño de las corrientes aconsejables para riegos de cuencas debe de ser considerablemente mayor por unidad de área de tierra que con los riegos de bordos. Posiblemente una guía apropiada para el tamaño adecuado de la corriente consistiría en usar una corriente, por lo menos, del doble por unidad de área que la que se recomendara para los declives más planos con riegos de bordo.

El control de la corriente en la cuenca se obtiene comúnmente por medio de tipos de desagües abiertos o de tubería que tengan una capacidad adecuada para las grandes corrientes que se necesitan.

Las inundaciones con zanjas de contornos son práctica común en algunas de las tierras de riego más antiguas del Oeste en donde la topografía es bastante escarpada. Las zanjas de contorno deben construirse prácticamente sin pendiente alguna, si no son demasiado largas. En las zanjas más largas un declive de 0.1 de pie por cada 100 pies es ordinariamente suficiente y más fácil de manejar.

El espacio entre las zanjas de contorno no debe ser demasiado grande. En tierras de contextura fina con pendientes de 1 a 2% el espaciamiento no debe exceder de 250 pies. En las mismas pendientes el espaciamiento de las zanjas en tierras más gruesas no debe exceder de 100 pies. En los declives de 5% las distancias deben de ser de 150 y 50 pies, respectivamente.

El tamaño de la corriente requerida en cualquier desagüe a lo largo de las zanjas de contorno no necesita ser muy grande, porque el área de tierra que se espera cubrir con esa corriente será muy pequeña. Los tamaños de la corriente por unidad de área que se sugieren para los riegos de bordos, se aplican generalmente a las zanjas de contorno.

El centro del flujo de las zanjas de contorno se hace a menudo por medio de cortes en los bordos de las zanjas, especialmente si esos bordos están saturados. El empleo de sifones ha dado buenos resultados en algunas localidades.

Las especificaciones dadas por los métodos de riegos superficiales no pueden ser absolutamente rígidas.

Muchos de los factores que afectan las relaciones de longitud de flujo, tamaño de la corriente y espaciado de las corrugaciones, varían ampliamente durante la estación de riegos y el periodo de rotación de cosechas. Las especificaciones anteriores, sin embargo, darán buen resultado en condiciones normales cuando se emplean buenas prácticas de labranza.

Generalmente los riegos con fajas de bordos no funcionarán debidamente cuando el declive en dirección del flujo es mayor de 2%. A veces se emplean bordos en las tierras de pasturas con pendientes escarpadas hasta de 6%, pero entonces la distancia entre las orillas de los bordes debe disminuirse aproximadamente a 10 ó 15 pies. El declive más escarpado hacia abajo de un campo en cualquier faja de bordo no debe ser mayor que el doble del menos escarpado, y la pendiente debe aumentar o disminuir constantemente de un extremo al otro sin ondulaciones. Se puede permitir un declive transversal hasta de un décimo de pie dentro de una determinada faja de bordos, y esto proporciona a menudo el factor limitativo para el ancho de las fajas. Por ejemplo, un campo con un declive transversal de 0.2% no podría tener bordos que estuvieran espaciados a más de 50 pies.

Las corrugaciones pueden emplearse con éxito en declives hasta de 8% en aquellos lugares en donde el desbordamiento de las lluvias no constituye un problema serio y en los que el agua de riego está cuidadosamente controlada. El declive de la corrugación no debe ondular en toda su longitud. Cuando la pendiente aumenta hacia abajo del campo, la parte más escarpada no debe tener un declive mayor del doble de la menos escarpada y la variación total no debe de exceder de 2%. Cuando la pendiente disminuye, la parte más escarpada no debe de ser mayor de una y media veces la menos escarpada, o sea una variación total de 1%. Si la pendiente de la corrugación es mayor de 2% puede permitirse un declive transversal hasta de 0.5%, pero en pendientes menos escarpadas el declive transversal no debe ser mayor de una cuarta parte de la pendiente hacia abajo del campo. Los surcos, al igual que las fajas de bordos y las corrugaciones, no deben tener un perfil ondulado. Pueden usarse en pendientes hasta de 3% cuando la erosión producida por las lluvias no constituye un problema. La pendiente más escarpada en el perfil de los declives que van en aumento no debe ser mayor que el doble de la menos escarpada, y en las pendientes que disminuyen la parte más escarpada debe ser menor de una y media veces la menos escarpada.

El máximo aconsejable en declives



transversales depende de la profundidad del surco. Cuando los surcos tienen una profundidad aproximada de 9 pulgadas, pueden ser satisfactorios los declives transversales hasta de 8%, en tierras de contextura mediana y fina. En tierras de contextura gruesa, el límite superior de los declives transversales es de 5%, y en tierras sumamente gruesas, de 2%. En los surcos de profundidad media hasta de 6 pulgadas, los declives transversales aconsejables son de 3%, 2% y 1%, respectivamente, para tierras de contextura mediana o fina, áspera y muy áspera. Los surcos poco profundos de 3 pulgadas pueden tener declives transversales de 0.5%, en tierras medianas y finas, y de 0.3%, en tierras gruesas. Esos requisitos son muy importantes cuando se usa el sistema de riegos de contorno.

Las cuencas o los bordos nivelados requieren pendientes de menos de 0.1% sin declives transversales. Si se usan represas de contorno, como sucede en las cuencas arroceras, la pendiente de la tierra no debe exceder de 1% y esas represas deben espaciarse de tal manera que el intervalo vertical entre diques no sea mayor de 3 pulgadas.

Los riegos de superficie deben suplementarse con un sistema completo de disposición de agua para remover el agua sobrante e impedir la formación de charcos. Los desagües deben tener la capacidad suficiente para vaciar tanto los flujos máximos de corta duración como el exceso de agua de riego. Es indispensable que se tomen las medidas necesarias para permitir que los sistemas de cuencas o represas puedan desaguarse cuando sea necesario. A menudo los desagües necesitan cierta protección, ya sea en forma de vegetación o de alguna estructura para transportar el agua sin causar erosión. Los desagües deben dotarse con los pasos necesarios para permitir que se mueva sobre ellos el equipo de labranza.

JOHN T. PHELAN *es ingeniero de riegos adscrito al Servicio de Conservación de Tierras en Lincoln, Nebraska, habiéndose graduado en la Universidad de Nebraska y formando parte del Servicio desde 1935.*

WAYNE D. CRIDDLE *es ingeniero y subdirector de la Junta Hidráulica y de Energía de Utah, y es coautor del método Blaney-Criddle para calcular las necesidades de agua de riego. Se graduó en el Colegio Agrícola del Estado de Utah, y más tarde fue profesor del mismo.*

El empleo de rociadores en los riegos

Tyler H. Quackenbush y Dell G. Shockley

LOS AGRICULTORES norteamericanos emplearon por primera vez los riegos de aspersión alrededor de 1900. En 1955 se regaban con rociadores más de dos millones de acres.

El uso de la tubería ligera de aluminio con acoplamiento rápido se popularizó después de 1945. Disminuía los costos de mano de obra de los primeros sistemas portátiles, demostrando que los riegos de aspersión podían adaptarse a la mayoría de los sitios y cosechas de los Estados Unidos de Norteamérica.

Las ventajas de los riegos de aspersión, cuando se instalan y se hacen funcionar en forma adecuada, son las siguientes:

PUEDE CONTROLARSE la erosión. Es posible regar sin riesgo las tierras demasiado escarpadas para permitir el uso eficiente de otros métodos. Si la erosión de la tierra constituye un riesgo, los riegos de aspersión son adecuados para usarse con cubiertas de abono, terracerías y cultivos en fajas.

Hacen posible una aplicación uniforme en toda clase de tierras. En tierras arenosas que tienen proporciones elevadas de absorción, el riego por aspersión distribuye mejor el agua que cualquier otro método. Puede ahorrarse agua, regarse mayores extensiones de tierra y disminuir los problemas de desagüe.

Puede controlarse la cantidad de agua de acuerdo con las necesidades de la cosecha. Pueden hacerse aplicaciones ligeras de agua a las semillas y a las plantas tiernas.

No se requiere preparación alguna de la tierra. Las tierras que son demasiado superficiales para nivelarse debidamente si se emplean otros métodos, pueden re-

garse sin riesgo por medio de aspersiones. En las tierras más profundas, puede eliminarse o disminuirse grandemente el costo de nivelación de la tierra.

Deja más tierra disponible para la producción de cosechas. Son innecesarias las zanjas de campo, las corrugaciones o los diques. Disminuye también el problema de las hierbas, aminora el desgaste de la maquinaria agrícola y simplifica las prácticas de labranza. Puede eliminarse el desbordamiento superficial del agua de riego.

Pueden usarse eficientemente pequeñas corrientes de agua de riego. Muchas granjas pequeñas que tienen un suministro de agua de flujo continuo, no cuentan a menudo con el agua necesaria si se emplean métodos superficiales de riego.

Puede controlarse el tiempo y cantidad de aplicación de los fertilizantes de acuerdo con las necesidades de las plantas. Los rociadores permiten la aplicación de fertilizantes solubles en el agua.

Se disminuyen los costos de mano de obra, especialmente en tierras que tienen elevadas proporciones de absorción, así como en tierras escarpadas u onduladas. Los riegos pueden combinarse con otras operaciones de labranza como trabajo incidental que se hace una o dos veces al día.

Pueden disminuirse los daños causados a las cosechas por las heladas mediante el empleo de sistemas de aspersión diseñados especialmente.

Sus limitaciones son las siguientes:

El viento puede deformar los patrones de aspersión y causar una distribución irregular del agua. Cuando los rocíos se esparcen, algunas partes de los campos pueden recibir agua en exceso mientras que otras reciben muy poca.

La utilización económica del equipo requiere un constante suministro de agua. El agua debe ser limpia y estar exenta de tierra y de desechos.

La primera inversión es muy alta y el equipo debe manejarse con cuidado.

La energía requerida es muy elevada. Como los rociadores funcionan con presiones de agua de 15 a más de 100 libras por pulgada cuadrada, ordinariamente se necesita energía adicional.

No pueden regarse eficazmente las tierras apretadas que tienen proporciones lentas de absorción en climas calientes y airosos. Cuando se aplica el agua en las escasas proporciones que requieren esas tierras, aumenta grandemente el porcentaje de pérdidas por evaporación y esparcimiento por los vientos. Los costos de mano de obra o de instalación pueden ser muy altos en los campos que permanecen saturados algún tiempo después de que se han terminado los riegos.

Se usan dos tipos de sistemas de aspersión para regar las cosechas de granja: Uno emplea rociadores y el otro tubos perforados.

Se usan más extensamente los tipos de rociadores que pueden diseñarse como instalaciones permanentes con líneas principales y laterales enterradas. Pueden ser también semipermanentes con líneas principales fijas y líneas laterales portátiles, o pueden diseñarse como sistemas totalmente portátiles. En toods ellos el agua se distribuye por medio de una línea principal desde la fuente de suministro a las líneas laterales, y la descarga al aire se hace por medio de toberas en los rociadores, montadas en pequeños tubos de elevación conectados a las líneas laterales.

Cada cabeza rociadora aplica el agua a una área circular cuyo diámetro depende del tamaño de la tobera y de la presión del agua. El agua no se aplica uniformemente sobre toda la superficie mojada, así que ordinariamente las cabezas rociadoras se colocan en tal forma que su descarga se entrecruce. Para obtener una cobertura uniforme, la distancia entre las cabezas rociadoras de una línea lateral debe ser de una cuarta parte a la mitad del diámetro del círculo de agua. La distancia entre las líneas laterales o la



Aspersiones de doble boquilla y cabeza rotativa colocados a distancia de cuarenta pies en una línea lateral portable de conexión rápida.

distancia a que se mueven las líneas laterales portátiles puede ser mayor, pero el movimiento de esas líneas laterales no debe exceder de 0.7 del diámetro del círculo de agua.

Las cabezas rociadoras son de varias clases. Algunas de ellas giran y otras están fijas. Unas tienen dos toberas y otras solamente una. Las cabezas rociadoras giratorias de dos toberas se usan más comúnmente. Una de ellas, llamada tobera de distancia, se ajusta para lanzar el agua a la parte exterior del círculo, y la otra, llamada tobera de esparcimiento, es más pequeña y aplica el agua en el área próxima a la cabeza rociadora. El chorro de la tobera de distancia hace funcionar un dispositivo que produce la rotación de la cabeza en una proporción aproximada de 3 revoluciones por minuto. Esas cabezas rociadoras pueden emplearse para aplicar el agua en proporciones que varían de 0.2 hasta más de 1.0 pulgadas por hora.

Las cabezas rociadoras giratorias de una tobera son semejantes a los tipos de doble tobera, no funcionando la tobera de esparcimiento. Sin embargo, se fabrican generalmente con toberas más pequeñas y deben esparcirse más cerca unas de otras a lo largo de las líneas laterales. Ordinariamente el ángulo de la tobera es menor y tiene una trayectoria más plana. Algunas se destinan a reemplazar las cabezas de doble tobera en localidades con vientos excesivos y en áreas húmedas del mismo diámetro aproximado que las que se riegan con el tipo de doble tobera. Las cabezas más pequeñas de una sola tobera se adaptan al riego de huertos, pero rara vez se usan en cosechas de campo.

Las cabezas rociadoras fijas o estacionarias se adaptan para usarse en huertos estrechamente espaciados de bajo crecimiento, tales como los plantíos de cítricos, y aplican el agua en áreas pequeñas y en proporciones bajas normales. Algunas se construyen en tal forma que puede variarse el diámetro del círculo de agua. Ordinariamente se colocan entre las filas de árboles, sin cuidarse de que se entrecrucen sus patrones de humedad.

Los rociadores de tubos perforados aplican al agua a través de agujeros muy pequeños perforados a poca distancia a lo largo de un segmento de la circunferencia del tubo. Ordinariamente hay varias filas de orificios, en tal forma que la trayectoria de los chorros proporciona una distribución bastante uniforme del agua a lo largo de una faja de tierra a ambos lados del tubo. Algunos sistemas tienen solamente una fila de agujeros y el agua se distribuye moviendo u oscilando el tubo a través de un arco aproximado de 180°, por medio de un motor hidráulico. Como los tubos rociadores oscilantes deben mantenerse arriba de la superficie, se emplean más comúnmente en instalaciones permanentes en los pequeños viveros y en las parcelas de legumbres.

El ancho de la faja que puede regarse con un tubo perforado depende del tamaño de los agujeros y de la presión del agua. Los sistemas ordinarios permiten la cobertura de una faja de un ancho aproximado de 40 pies a una presión de funcionamiento aproximadamente de 25 libras por pulgada cuadrada. Después de que se ha regado una faja se desconecta el tubo y se mueve a una distancia de 40 pies para regar la siguiente faja, y el agua se suministra a las líneas laterales por medio de una línea principal enterrada o portátil.

Los rociadores de tubo perforado se adaptan para usarse en tierras con capacidades de absorción relativamente altas, y dan buenos resultados cuando las tierras absorben el agua en proporciones tan rápidas como de una pulgada por hora. Sin embargo, en las tierras apretadas que absorben el agua lentamente, pueden causar charcos o erosiones. Como los rociadores de tubo oscilante tienen sólo una fila de agujeros, aplican el agua más lentamente y pueden usarse sin riesgo en casi cualquier tipo de tierra.

LAS PARTES DE TODOS los sistemas de aspersión se asemejan en la mayoría de sus aspectos. Consisten de una bomba que suministra la presión necesaria, de las tuberías para las líneas principales y laterales y de cabezas rociadoras o tubos perforados.

Las bombas de turbina o las centrífugas horizontales son las mejores. El tipo de turbina se emplea para bombear el

agua de fuentes relativamente profundas de agua del suelo, y las centrífugas se usan con aguas superficiales o pozos poco profundos, siendo generalmente menos costosas para instalar y funcionar, pero sólo pueden usarse cuando las alturas de succión son menores de 15 pies. Las bombas de turbina deben instalarse generalmente en sitios fijos, pero las centrífugas pueden ser portátiles o usarse en instalaciones permanentes. Ambos tipos deben estar diseñados para elevar la cantidad de agua necesaria desde la fuente de suministro hasta el punto más elevado del campo, manteniendo la presión de funcionamiento necesaria.

Se usan motores eléctricos y de combustión interna para mover las bombas. Los motores eléctricos son mejores para las instalaciones fijas, si hay disponible la energía suficiente, y en otras condiciones pueden usarse motores de gasolina, de tipo *Diesel* o de gas natural. Los motores *Diesel* y de gasolina se adaptan también para usarse con unidades portátiles de bombeo. Todos los tipos de unidades de fuerza deben estar dotados de interruptores automáticos que corten la energía si la presión de la línea principal disminuye por cualquier causa bajo un límite fijo.

Los motores de combustión interna deben tener también un interruptor de seguridad que esté controlado por la presión de la bomba de aceite.

Las tuberías principales pueden ser permanentes o portátiles. Las tuberías permanentes son más ventajosas en las granjas que tienen linderos fijos y en aquellas en que las cosechas requieren riegos durante toda la estación. Las tuberías portátiles son más económicas cuando se usa un sistema de aspersión para varios campos. Se usan tubos de acero en las líneas principales permanentes, así como de asbesto-cemento y fierro, pero los tubos de concreto no se adaptan para usarse en sistemas de aspersión de alta presión. Las tuberías permanentes deben enterrarse, a fin de que no interfieran con las operaciones de labranza. Los tubos ligeros de aluminio con acoplamientos rápidos se usan en la mayor parte de las líneas principales portátiles.

Ordinariamente las líneas laterales son portátiles. Sin embargo, se usan líneas laterales permanentes en algunos huertos, viveros de árboles y otros sitios especiales. La tubería de aluminio de acoplamiento rápido es la mejor para la mayoría de las líneas laterales portátiles. Las líneas laterales deben acoplarse a descargas con válvula en la línea principal. Generalmente esas descargas se instalan de acuerdo con el espaciamiento deseado de las laterales, pero en algunos casos se diseña una descarga para que dé servicio a diferentes posiciones de laterales. En esos casos pueden necesitarse tramos adicionales de tubo para llevar el agua desde la descarga a las posiciones laterales más alejadas.

Los rociadores que se emplean para distribuir el agua en la superficie de un campo son de diseño diferente y generalmente se fabrican cabezas rociadoras giratorias para emplearse con presiones que varían desde 15 hasta más de 100 libras por pulgada cuadrada. Es muy importante que se suministre la presión adecuada para los rociadores que van a usarse, ya que las presiones demasiado altas o demasiado bajas para determinado rociador producirán una distribución irregular del agua. Las presiones requeridas para los rociadores de tubo perforado son menos críticas. Sin embargo, el ancho de la faja regada con un tubo perforado variará con la presión que se emplee y tendrá que ajustarse el espaciamiento de las líneas laterales a ese ancho para obtener una cobertura satisfactoria.

ORDINARIAMENTE se necesitan trampas de sedimentos cuando se emplean aguas superficiales. Sus detalles varían, pero su función consiste en impedir que entren desechos al sistema, que podrían obstruir las toberas de los rociadores. Las mallas de las trampas deben ser lo suficientemente finas para impedir el paso de las semillas de hierbas y otras pequeñas partículas, y pueden necesitarse también para impedir que penetren al sistema las ramitas, tallos de plantas y otros desechos de mayor tamaño. Pueden usarse dos o más trampas con mallas de finura progresiva cuando los desechos son muy abundantes. Deben removerse los depósitos de desechos en las trampas antes de

que impidan al flujo del agua llegar a las bombas.

Cuando el agua se obtiene de arroyos o zanjas abiertas, puede ser necesario el empleo de depósitos de sedimentación para remover las arenas o sedimentos en suspensión. A veces los depósitos de sedimentación y las trampas de desechos pueden construirse como estructuras combinadas. Los depósitos de sedimentación deben ser lo suficientemente grandes para que su protección se extienda por lo menos un día entero, siendo deseables de mayor capacidad.

Deben emplearse bombas auxiliares para proporcionar una presión adecuada en las pequeñas áreas que se encuentran a alturas mayores que el área principal que hay que regar. El uso de esas bombas auxiliares evita la necesidad de llevar altas presiones desde la planta principal de bombeo a una porción relativamente pequeña de la descarga total que es necesaria en el área elevada. Deben determinarse los requisitos comparando el costo anual de emplear una planta principal de bombeo de baja presión, más una o dos bombas auxiliares, con el de una planta principal de bombeo de mayor presión sin bombas auxiliares.

Generalmente se necesitan válvulas de descarga para controlar la presión en las líneas laterales. Deben usarse siempre esas válvulas en aquellos sistemas en los que hay diferencias considerables en la presión de las líneas laterales. En los sistemas de líneas laterales múltiples, las válvulas permiten el movimiento individual de las laterales sin necesidad de parar todo el sistema.

Las válvulas de control de flujo pueden ser útiles para regular la presión y descarga de los rociadores individuales cuando la desigualdad del terreno produce una diferencia de presión a lo largo de las laterales, pero rara vez son necesarias en los campos bien nivelados o en los declives continuos.

Pueden usarse laterales que ruedan, movidas ya sea a mano o mecánicamente, para regar cosechas de forrajes en campos rectangulares nivelados con tierras bien desaguadas. Las laterales se montan en ruedas de las que la tubería constituye el eje. Se usa un tramo de manguera flexible para conectarlas a la línea principal. Esas laterales que ruedan cuestan más que las portátiles de acoplamiento rápido, pero necesitan menos mano de obra.

Las laterales de arrastre que se mueven arrastrando la tubería a lo largo por medio de un camión o tractor, se emplean para regar cosechas de forrajes, y hasta cierto grado para el riego de huertos. Funcionan mejor en tierras arenosas que permanecen firmes cuando están húmedas. Las líneas laterales se montan en patines o carretillas con ruedas y se remolcan a lo largo de un sendero curvo que las mueve a su nueva posición lateral a medida que la línea se mueve hacia adelante. Uno o dos tramos de tubería en los extremos de las laterales, ordinariamente deben colocarse a mano. Las necesidades de mano de obra son bajas con este sistema, pero pueden causarse daños a las cosechas si las líneas se arrastran a través de campos lodosos. Bajo condiciones ideales, un hombre puede mover una lateral de un cuarto de milla de largo en menos de 15 minutos. Los costos iniciales son mayores que las de las laterales ordinarias movidas a mano, pero comúnmente son menores que los de las laterales que ruedan.

Deben tenerse en cuenta los factores que influencian el diseño y funcionamiento de los sistemas de aspersión, a fin de conseguir un diseño apropiado. Se necesita un inventario de la tierra y de los recursos hidráulicos y un análisis de las condiciones en que funcionará el sistema.

Deben inspeccionarse las tierras y levantarse un mapa de ellas para mostrar las diferencias significativas en las características de absorción de agua o en las capacidades de retención de la misma que existan. Los sistemas pueden diseñarse para que apliquen el agua en menores proporciones que la máxima de absorción de la tierra. Sin embargo, se necesita un conocimiento de las capacidades de absorción de las tierras bajo los usos a que las mismas se destinen y las condiciones de las cosechas antes de determinar las proporciones de aplicación que puedan emplearse sin riesgo. Algunas tierras absorben el agua en proporciones tan bajas como 0.1 de pulgada por hora,

y otras en proporciones de más de 2.0 pulgadas por hora. Las tierras arenosas de contextura gruesa tienen ordinariamente las mayores capacidades de absorción, mientras que las tierras arcillosas de contextura fina tienen ordinariamente capacidades más bajas. Sin embargo, la estructura de la tierra, su consolidación, cementación, contenido de álcali u otros factores, pueden tener efectos considerables en la capacidad de absorción de las tierras de cualquier contextura. Pueden determinarse mejor esas características de absorción con mediciones que se efectúen bajo condiciones reales.

La capacidad de retención de agua que exista en las tierras, limita la cantidad de agua que deba aplicarse en cualquier riego. Las tierras arenosas de contextura gruesa conservarán una cantidad limitada de agua disponible para usarse por las plantas, pudiendo ser esa capacidad tan escasa como una quinta parte de la cantidad que se retiene en una tierra de marga de contextura fina de igual profundidad. Las tierras de marga pueden retener hasta 2.5 pulgadas de agua disponible por pie de profundidad, pero las muy gruesas pueden tener una capacidad tan baja como de 0.5 de pulgada por pie. En ambos casos el agua debe aplicarse antes de que toda la humedad almacenada disponible haya sido utilizada por las cosechas.

Deben investigarse las condiciones topográficas para determinar la forma general de la tierra y precisar las diferencias máximas en su altura. Los sistemas de aspersión deben diseñarse con líneas laterales que corran a través de los declives y que queden tan niveladas como sea posible, a fin de disminuir las variaciones de presión. Si esto no es factible, las líneas laterales deben correr hacia abajo de los declives, de modo que la ganancia de carga pueda compensar total o parcialmente la pérdida de presión debida a la fricción en esas laterales. A menudo se necesitan modificaciones considerables de diseño, a fin de proporcionar un sistema adecuado en tierras escarpadas u onduladas.

Las extremadas diferencias de altura dentro del área o entre el suministro de agua y algunas partes de ella, tendrán efectos considerables en los requerimientos de energía del sistema, y las diferencias de altura pueden afectar también la selección del tamaño de los tubos para las líneas principales y laterales.

Deben investigarse los suministros de agua incluyendo fuente, cantidad y calidad, como medida preliminar para el diseño de un sistema de aspersión. Una fuente próxima al centro del área significará la combinación más económica en los tamaños de la tubería. Una fuente próxima a la orilla o fuera del área, requerirá ordinariamente el empleo de líneas principales más grandes y puede necesitar más tubería.

La cantidad total de agua disponible para la temporada de riegos es muy importante para determinar la superficie que pueda regarse. La disponibilidad diaria de los suministros tiene también importancia en el diseño de un sistema que pueda llenar los requisitos de los periodos máximos y de las necesidades de consumo de las cosechas. Si el agua está disponible a base de un flujo continuo y constante, la cantidad total estacional puede ser adecuada; pero el flujo puede no serlo durante los periodos de utilización mayor. A veces pueden disminuirse las fluctuaciones en la demanda mediante esquemas de cultivo que incluyen cosechas con diferentes periodos de utilización máxima.

Los orígenes y los costos de la energía tienen una marcada influencia en el diseño de los sistemas de aspersión. Cuando se va a emplear energía eléctrica, deben investigarse las limitaciones de fase, voltaje y potencia. Las líneas monofásicas de transmisión de bajo voltaje no proporcionarán la energía suficiente para los grandes sistemas, ya que en esas líneas la potencia de los motores queda restringida ordinariamente a 5 caballos.

Debe considerarse también el tipo de labranza. Las diferentes cosechas pueden requerir cantidades distintas de agua y esquemas de riego especiales. Los huertos y viñedos imponen ciertas limitaciones al diseño de los sistemas de aspersión, espaciado de los rociadores y tipos de cabezas rociadoras. Deben determinarse los linderos de campo, superficies y tipos de cosechas, y debe precisarse en un mapa

la dirección y espaciamiento de las hileras de árboles u otros plantíos fijos. Deben considerarse también los programas de cosechas de cobertura y su efecto en los requisitos máximos de utilización del agua.

El clima constituye siempre un factor. La precipitación natural puede suministrar gran parte de la humedad requerida por las cosechas en áreas húmedas. Igualmente, las proporciones máximas de utilización de agua son mucho menores en las planicies costeras relativamente frías y en las áreas altas intermontañosas que en los valles interiores más calientes y secos. Las condiciones del viento en algunos lugares requieren atención especial. El espaciamiento de los rociadores, tamaños de las toberas, presiones en ellas y disposiciones de las líneas laterales pueden necesitar ciertos ajustes para proporcionar una distribución de agua adecuada. En condiciones adversas, se requieren a veces toberas especiales para vientos. El clima afecta también la proporción mínima en que debe aplicarse el agua, pudiendo ser suficientes aplicaciones tan escasas como de 0.10 de pulgada por hora en áreas frías y húmedas en donde la velocidad del viento es escasa. Esas proporciones son demasiado bajas para los valles calientes, áridos y airosos del interior, porque la mayor parte del agua se perdería por evaporación y esparcimiento por los vientos. Las cosechas de campo en las áreas calientes y secas del Sur pueden requerir proporciones de aplicación mínimas que se acerquen a 0.5 de pulgada por hora.

Hay que considerar los programas de granjas. Los ciclos de riego y el movimiento del equipo de riego deben disponerse en forma tal que causen una interferencia mínima con los programas de cultivo, aspersión de insecticidas, recolección o rotación de cosechas y pastado. Pueden requerirse ajustes en la cantidad y frecuencia de las aplicaciones o puede necesitarse el empleo de equipo extra para que los riegos se ajusten a los programas generales de actividades agrícolas.

La disponibilidad de la mano de obra puede influenciar el diseño y longitud de los sistemas o hacer indispensable el uso de equipo especial. Los pequeños sistemas se diseñan ordinariamente para una o dos aplicaciones cada 24 horas, y los rociadores se mueven por la mañana, por la tarde, o ambas veces, como una labor de rutina. Los movimientos más frecuentes son comunes en sistemas mayores en donde la cantidad de tubería que hay que mover es suficientemente grande para justificar el empleo de personal de riego a tiempo completo cuando la tierra se puede regar sin riesgo alguno con proporciones de aplicación más elevada. A veces disminuyen las neecsidades de mano de obra empleando líneas laterales montadas sobre ruedas o movidas por tractores.

El buen diseño es esencial para el éxito del funcionamiento de un sistema de riego por aspersión, y constituye una verdadera labor de ingeniería. Deben adquirirse los equipos de un vendedor que siga normas adecuadas de ingeniería. La Asociación Norteamericana de Ingenieros Agrícolas y la Asociación de Riegos por Aspersión han preparado listas de los requisitos mínimos para el diseño, instalación y funcionamiento de los equipos de riego por aspersión.

Un sistema bien diseñado debe llenar las condiciones siguientes:

Aplicar el agua en proporción tal que no cause desbordamientos durante el periodo normal de operación o que haga que el agua quede en la superficie de la tierra después de que se termine el riego.

Tener una capacidad suficiente para cubrir las demandas máximas de humedad de todas las cosechas que haya que regar dentro del área para la que se ha diseñado el sistema. Este debe tener un tamaño suficiente para permitir que se termine un riego antes de que sea necesario iniciar otro.

Evitar daños a las cosechas.—Las diferentes cosechas pueden requerir variaciones en las cabezas rociadoras y en las presiones de funcionamiento, tales como el empleo de rociadores de ángulo bajo para los duraznos, albaricoques y cerezas.

Proporcionar las presiones de funcionamiento que vayan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del sistema.—Las variaciones de presión entre

dos rociadores o sitios de rociadores en el campo no deben ser mayores de un 20% de la presión máxima, independientemente de las pérdidas causadas por la altura y la fricción. Esto mantendrá las variaciones en la descarga de los rociadores aproximadamente a un 10%.

Aplicar la cantidad de agua que la tierra puede retener para su utilización por las cosechas.—Cuando el sistema se diseña y se hace funcionar correctamente, debe haber un mínimo de excesos de riego o desperdicios de agua. Sin embargo, el sistema debe ser capaz de suministrar el agua suficiente para mojar la zona de raíces a la profundidad especificada para la clase de tierra y la cosecha de que se trate.

Proporcionar tamaños de tubería que sean de instalación y funcionamiento económicos.—Los tubos demasiado pequeños requieren energía adicional para compensar las elevadas pérdidas por fricción. Los tubos demasiado grandes hacen el costo de adquisición muy elevado.

Contar con una bomba y unidad de energía que estén diseñadas para llevar a cabo la tarea que se requiere de ellas.—La bomba debe funcionar casi a su eficiencia máxima. Los equipos baratos aumentan a menudo los gastos de operación en forma más que suficiente para nulificar los ahorros que puedan haberse obtenido en la compra original.

Es ABSOLUTAMENTE esencial que los sistemas de riego por aspersión funcionen de acuerdo con las normas empleadas para su diseño. Los sistemas están diseñado para aplicar una determinada cantidad de agua a una área epecífica de tierras y cosechas conocidas. Cualquier intento para agrandar el sistema a fin de que incluya una superficie adicional, o para emplearlo en una área de igual tamaño pero con tierras o cosechas diferentes, causará ordinariamente un funcionamiento poco satisfactorio.

Deben mantenerse las presiones de funcionamiento prescritas, ya que las variaciones de presión producirán cambios en las cantidades y proporciones de las aplicaciones de agua.

El periodo de tiempo para cada colocación de las líneas laterales debe determinarse por la cantidad de agua necesaria para saturar la tierra a su capacidad de campo. A menudo el tiempo necesario será mucho menor que el tiempo máximo para el que se diseñó el sistema, y esto será especialmente cierto durante las primeras etapas de crecimiento de las plantas. Las colocaciones laterales por un periodo menor que el tiempo de diseño deben hacerse cuando sean necesarias para evitar excesos de riego y desperdicios de agua; pero nunca debe excederse del tiempo establecido en el diseño para las líneas laterales, ya que esa práctica puede impedir que se cubra todo el total del campo antes de que alguna parte de la cosecha se dañe por falta de agua.

Los riegos deben iniciarse a tiempo a fin de evitar daños a las cosechas en aquellas partes de los campos que se riegan al último. La iniciación tardía de los riegos significa una disminución de la producción. El examen del perfil de la tierra para determinar el contenido de humedad indicará el tiempo apropiado para la iniciación de los riegos.

LOS REQUISITOS ESENCIALES de mantenimiento en la mayoría de los sistemas de aspersión son relativamente sencillos. Se necesitan inspecciones periódicas y el reemplazo de las partes gastadas. Debe darse especial atención a las bombas, motores eléctricos y de combustión interna y dispositivos de seguridad, tales como interruptores de baja presión y de alta temperatura. Deben limpiarse con frecuencia las válvulas de pie, válvulas de retención, trampas de desechos y depósitos de sedimentación. Los tubos portátiles y sus acoplamientos no necesitan más atención que la reparación o reposición ocasional de los empaques de hule y la reparación o reposición de los tubos que se dañen accidentalmente. Deben inspeccionarse cada año las cabezas rociadoras giratorias para descubrir y reparar o reponer los cojinetes gastados o dañados, según sea necesario. Las toberas rociadoras pueden desgastarse por la gran velocidad de los flujos que manejan, especialmente si el agua contienen arena o sedimento fino. Como los orificios agrandados de esas toberas descargarán mayores cantidades de agua que las calcula-

das originalmente o causarán una disminución en la presión, deben examinarse ocasionalmente y reemplazarse cuando sea necesario.

TYLER H. QUACKENBUSH *es ingeniero de riegos de la División de Ingeniería del Servicio de Conservación de Tierras con residencia en Washington.*

DELL G. SHOCKLEY *es ingeniero de riegos de la Unidad de Ingeniería y Planeación de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Conservación de Tierras con residencia en Portland, Oregon.*

La aplicación del agua bajo la superficie del suelo

George M. Renfro, Jr.

EN LOS SUBRIEGOS se aplica el agua bajo la superficie del suelo en vez de sobre él, creando y manteniendo ordinariamente una meseta artificial de agua a una profundidad predeterminada. En esa forma la humedad llega a las raíces de las plantas por medio de un movimiento capilar hacia arriba.

El éxito de los subriegos requiere que durante toda la estación de crecimiento haya disponible un suministro adecuado de agua de buena calidad. La topografía debe ser aproximadamente nivelada y lisa. Debe existir una capa de tierra inmediatamente debajo de la tierra superficial que sea lo suficientemente permeable para permitir el movimiento libre y rápido del agua en sentido lateral y vertical.

Debe existir en el perfil de la tierra una barrera contra las pérdidas excesivas debidas a la filtración profunda. Esa barrera puede consistir de una capa relativamente impermeable en el subestrato o de una meseta natural de agua permanentemente elevada sobre la que pueda construirse la meseta artificial. El sistema de distribución debe consistir de una red de zanjas principales bien planeada, laterales de campo y estructuras que permitan elevar la meseta de agua a una profundidad uniforme bajo la superficie del suelo en toda el área. Debe haber una salida adecuada para el agua de desagüe del área regada, o debe construirse si no la hay, especialmente en áreas húmedas.

Sólo en unos cuantos sitios en los Estados Unidos de Norteamérica existen todas estas circunstancias conjuntamente, por lo que el uso del subriego siempre será limitado. Entre las áreas en donde se practica, se encuentran las siguientes: El Delta del Sacramento-San Joaquín, en el centro de California; las Everglades, en el sur de Florida; el valle de San Luis, en Colorado; la zona de Flatwoods, en las planicies costeras de Florida; el valle Cache, en el norte de Utah; la zona de Egin Bench, en el sur de Idaho; algunas regiones pequeñas y aisladas de Kansas y Nebraska, y las tierras orgánicas de los estados de los Grandes Lagos de Michigan, Indiana, Minnesota y Ohio, en donde este método se conoce con el nombre de desagüe controlado, ya que la meseta de agua queda controlada por un sistema de estructuras en canales de desagüe y normalmente no se emplean aguas adicionales para los riegos.

Los principios comprendidos en los subriegos son los mismos para todas las áreas, aunque pueden variar los medios de introducción del agua dentro del perfil de la tierra. Se crea una meseta de agua artificial sobre una barrera natural que evita el profundo filtrado de la misma. Esa meseta de agua se mantiene a una profundidad fija, ordinariamente de 12 a 30 pulgadas debajo de la superficie.

El agua puede introducirse en el perfil de la tierra por medio de zanjas abiertas a través de pequeños desagües de tierra o de ladrillo. La primera agua es la que se usa más extensamente, porque es relativamente barata y se adapta a todos los tipos de tierra que puedan regarse bajo la superficie. Los pequeños desagües naturales sólo pueden usarse en tierras orgánicas, y los desagües de ladrillo se usan en relación con los subriegos en escala limitada en las tierras orgánicas de Michigan, Indiana, Minnesota y Ohio y en las tierras arenosas de la zona de Flatwoods, en Florida. El costo de los desagües de ladrillo puede llegar a varios

cientos de dólares por acre, lo que ordinariamente resulta muy costoso para toda clase de cosechas, a excepción de las muy valiosas.

Se dan explicaciones adicionales sobre este sistema en las siguientes discuciones de algunas áreas donde se emplea.

El Delta del Sacramento-San Joaquín, en California, cubre aproximadamente un cuarto de millón de acres totalmente de tierras de turba en la confluencia de los ríos Sacramento y San Joaquín. El área consiste de más de 100 regiones e islas organizadas cada una de ellas en uno o más distritos de recuperación bajo legislación estatal, para la construcción, mantenimiento y funcionamiento de sistemas de represas y desagües. En esa zona hay, aproximadamente, 160,000 acres de subriegos.

La tierra es plana y antes de la recuperación todas las tieras de turba se encontraban al nivel del mar. Debido a los hundimientos, la superficie ha bajado de 6 a 8 pies desde 1922 y gran parte de ella se encuentra ahora entre 10 y 11 pies bajo el nivel del mar. Cada una de las regiones e islas está rodeada de una represa que detiene las inundaciones y el flujo de las mareas.

Un típico perfil de tierra en esa área puede describirse como sigue:

0-28 pulgadas, tierra vegetal de tules y juncos. La materia orgánica superficial, hasta una profundidad de 8 pulgadas, se compone de residuos orgánicos de color negro grisáceo, granulados, friables, con una reacción más o menos neutra. Entre las 8 y las 23 pulgadas bajo la superficie actual, se encuentra una capa de tierra vegetal turbera de tules, densa y de contextura pesada, de color café oscuro-grisáceo.

23-28 pulgadas, turba de juncos, fibrosa y apelmazada, de color café amarillento, incompletamente descompuesto, y a la que se da comúnmente el nombre de turba de gamuza.

38-72 pulgadas, turba de tule de color café grisáceo, compuesta parcialmente de sedimentos fibrosos.

72-96 pulgadas, turba de tules y juncos de color café, fibrosa o apelmazada y fibrosa, incompletamente descompuesta.

96-114 pulgadas, turba de juncos de color café amarillento, característica de un colchón flotante.

114-120 pulgadas, turba sedimentaria sin estructura de color café grisáceo, desarrollada de las comunidades de plantas que ocupaban los espacios abiertos de agua. La capa mineral debajo de ella es una arcilla gris compacta y pegajosa.

Como el Delta sólo cuenta con lluvias moderadas, de 11 a 20 pulgadas, se necesitan riegos para la mayoría de las cosechas. El agua se eleva por medio de sifones sobre los bordos de las represas desde los canales que las rodean, descargándola en zanjas abiertas que corren paralelas a las represas a una distancia aproximada de 100 pies de su borde interno. El agua se descarga en zanjas laterales que dividen las islas o regiones en campos con una superficie de 20 a 40 acres. Las zanjas laterales tienen 4 ó 5 pies de profundidad, 3 pies de ancho en su parte inferior y de 5 a 6 de ancho en la superior. De las zanjas laterales se abren pequeñas zanjas auxiliares que llevan el agua hasta los surcos de las cosechas. Las zanjas auxiliares tienen, aproximadamente, 10 pulgadas de ancho y de 18 a 20 pulgadas de profundidad, espaciándose de acuerdo con las necesidades de las cosechas. Para las papas se espacían, aproximadamente, a una distancia de 20 surcos. Las zanjas auxiliares se abren cada año con una pequeña máquina para hacer trincheras, después de que han brotado las cosechas de surco. La tierra excavada se esparce en ambos lados a fin de no perjudicar las cosechas.

La meseta de agua del suelo se eleva a la altura deseada, y se mantiene allí por medio de depósitos en las zanjas laterales y de retenes en las auxiliares, que conservan el nivel de agua en ellas casi a la altura de su bordos. El movimiento lateral del agua desde las zanjas auxiliares permite elevar y mantener el nivel de la meseta de agua.

Se usa el mismo sistema de zanjas para el desagüe. El agua de riego sobrante, la que se filtra a través de las represas y el exceso de agua de las lluvias de invierno, corren a través del mismo sistema de zanjas y se descargan en canales de desagüe que llevan el agua a una planta

de bombeo. El agua se eleva sobre las represas y se descarga en los canales que las rodean por medio de bombas eléctricas controladas automáticamente.

Las principales cosechas que se riegan en esa forma son papas, espárragos, betabel, cebolla, apio y maíz. La meseta de agua se mantiene a diferentes niveles para cosechas diferentes, y para diversas etapas de crecimiento de las mismas. Por ejemplo, para el apio, la meseta de agua se mantiene muy cerca de la superficie, y para otras cosechas se mantiene un poco más abajo.

Los hundimientos constituyen uno de los principales problemas en el cultivo de las tierras turberas. Hay varios factores que pueden afectar el hundimiento de la superficie del suelo del Delta: El hundimiento geológico de toda el área, la consolidación debida a los implementos de labranza, el encogimiento producido por la sequía, la oxidación, la calcinación y la erosión causada por el viento.

El hecho de que todo el perfil de turba, hasta una profundidad de 30 pies o más, se componga de los desechos de plantas muy semejantes a las que ahora se cultivan en la superficie, parece indicar que esa superficie ha estado casi constantemente al nivel del mar o arriba de él. Los tules y juncos no crecen normalmente en agua a una profundidad de 30 pies, y parece más probable que el crecimiento de ellos haya ocurrido de acuerdo con el subestrato que se hundía lentamente.

La propiedad de la zona del Delta está dividida en grandes extensiones de tierras de labranza, y desde que se principió a cultivarlas ha sido práctica común el empleo de equipo pesado de labranza. Un tractor pesado que funcione en esas tierras, sacude el área circunvecina en un radio de 200 pies o más, e indudablemente las prácticas de cultivo causan cierta consolidación de la tierra superficial. Por ejemplo, cuando queda al descubierto la "tierra de gamuza" y el suelo se trabaja a una profundidad suficiente para la siembra, la superficie queda, aproximadamente, 2 pies más abajo que su condición original. Sin embargo, ahora se acepta menos que antes la teoría de que el cultivo es responsable de los hundimientos. Si una parte considerable de ellos se debiera a la consolidación, habría un marcado aumento en el peso por volumen de las tierras superficiales comparadas con el subsuelo.

A medida que se acerca un verano seco, cuando el desbordamiento de las corrientes es escaso, las aguas de los canales que rodean las regiones y las islas se vuelven temporalmente más saladas, y en los últimos años el límite aconsejable de salinidad de las aguas de riego que permite el crecimiento de las plantas se ha extendido bastante tierra adentro. En esas épocas los cultivadores suspenden los últimos riegos de verano de los canales que quedan afectados.

La práctica general de emplear subriegos, promueve la concentración de sales en la tierra superficial e impide la producción de cosechas. Las tierras orgánicas son extremadamente permeables y tienen una gran capacidad de retención de agua. La humedad cargada de sal se eleva rápidamente en ellas durante las estaciones de sequía, debido a los efectos de la meseta de agua elevada. Cuando hay un desagüe adecuado inferior, las lluvias de invierno tienden a lavar gran parte de las acumulaciones superficiales de esas sales hacia la parte inferior del perfil del suelo. Si pudiera mantenerse el movimiento de la humedad del suelo en dirección predominante hacia abajo, no se producirían las acumulaciones de sal o serían muy escasas.

El valle de San Luis, de Colorado, es un gran valle montañoso en la parte central del sur del estado, a lo largo del alto Río Grande. El río penetra al valle aproximadamente en el centro de su lado occidental; fluye generalmente en dirección Este-Sudeste aproximadamente durante 30 millas, y luego sigue hacia el Sur y sale del valle. Inmediatamente al norte del río se encuentra una cordillera que impide que el agua entre al valle por el Norte, por lo que la mitad Norte del valle no tiene una salida natural superficial o subsuperficial de desagüe.

El valle fue anteriormente un brazo del océano y más tarde se convirtió en un

lago interior, en el que se depositaron capas alternadas de arena, arena de grava y grava arcillosa y arenosa. A medida que el área quedó rodeada de montañas y se formaron barreras para el desagüe lateral, se convirtió en una gran cuenca artesiana.

La parte donde se emplean los subriegos comprende, aproximadamente, unos 135,000 acres en el centro de la porción occidental, cerca de los poblados del Center y Monte Vista.

La topografía de la tierra es generalmente plana con pendientes de 7 a 15 pies por millas, de Oeste a Este, habiendo muy poco declive en dirección Norte-Sur. Mediante un manejo adecuado el agua puede transportarse casi desde cualquier punto de la región al Norte, al Este o al Sur. La superficie de la tierra no es lo suficientemente uniforme para el empleo eficaz de los subriegos, lo que hace que los terratenientes tengan que gastar de 35 a 65 dólares por acre en nivelación.

Un perfil típico del suelo en esa zona comprende desde arena de marga y grava a una superficie de marga ligera y arenosa que puede tener de 6 a 30 pulgadas de profundidad, y bajo la cual puede existir arena de grava o grava arenosa a diversas profundidades. A profundidades de 30 a 60 pies se encuentra la capa de retención de arcilla de la parte superior de los mantos artesianos, que actúa también como base de las aguas para los subriegos.

En la parte del valle donde se emplean los subriegos, el Río Grande es la fuente principal de agua de riego, aunque se obtiene una parte de ella de los pozos y del flujo artesiano.

Los sistemas de distribución consisten de canales, zanjas laterales y de campo, idénticos a los que se usan ordinariamente para riegos superficiales. Las zanjas de subriego se abren a distancias de 50 a 75 pies a todo lo largo de los campos, manteniéndose llenas de agua, y el rápido movimiento del agua resultante en el perfil de la tierra, mantiene un nivel razonablemente uniforme de la meseta de agua entre las zanjas.

Tiene que haber un sistema de desagüe eficaz, a fin de que cuando sea necesario pueda bajarse rápidamente el nivel de la meseta de agua y puedan lavarse del perfil las sales perjudiciales. Es necesario instalar retenes en las zanjas, que deben quedar a una distancia lo suficientemente corta para mantener la meseta de agua a una profundidad uniforme bajo la superficie del agua. El declive y la contextura de la tierra regulan la proximidad de esos retenes.

Se riegan cosechas de papas, granos pequeños, legumbres, alfalfa, trébol dulce y heno nativo. La meseta de agua se conserva a una profundidad de 18 a 24 pulgadas para las papas, granos pequeños y legumbres, y se hacen todos los esfuerzos necesarios para evitar variaciones verticales de un día a otro en la meseta de agua durante el curso de la estación. En la alfalfa no se emplean generalmente los subriegos, sino que se le inunda a principios de estación y se vuelve a inundar a fines de otoño. La siembra inicial de alfalfa se hace de ordinario conjuntamente con la de granos pequeños como cosecha auxiliar, y la profundidad de la meseta de agua se determina por las necesidades de los granos pequeños.

Las praderas de heno nativo quedan normalmente a un nivel ligeramente inferior que el de la tierra cultivada y se inundan constantemente con cualquier agua que quede disponible después de regar la tierra cultivada. La meseta de agua se conserva en la superficie, o muy cerca de ella, por tanto tiempo como sea posible durante la estación de crecimiento. En la estación de crecimiento tardía y en invierno, la profundidad de la meseta de agua puede ser de 8 a 15 pies, debido a la escasez de agua.

Las pérdidas de riego en los campos individuales son muy altas. Sin embargo, como el agua que se pierde en un campo se emplea para elevar la meseta de agua de los campos más bajos, la eficiencia de riego en el área total es relativamente alta. No hay disponibles cálculos precisos del agua empleada en la área de subriegos, pero las desviaciones de los ríos para todas las tierras de riego son aproximadamente de 2 pies por acre por cada acre que se riega anualmente.

Esto significa una utilización eficiente del agua en la mayoría de las áreas y resulta especialmente eficiente en una área que tiene menos de 7 pulgadas de precipitación anual.

Uno de los problemas principales consiste en la falta de control de los suministros de agua. A principios de estación puede haber más agua de la necesaria, y se inundan indistintamente muchas áreas para ayudar a elevar la meseta de agua hasta el nivel deseado. A medida que avanza la estación el suministro de agua disminuye y se necesita más cuidado para aplicarla. Las cosechas de poco valor sufren primero los efectos de la falta de agua, y después de mediados de estación, todas las cosechas sufren por esa falta, ya que no es posible conservar el nivel adecuado para los subriegos en la meseta de agua. La falta de depósitos de almacenamiento en las orillas de las montañas es un factor importante en la falta de control de los suministros de agua.

Un segundo problema importante consiste en las acumulaciones de sal soluble y de sodio. La situación es bastante extraña: Los agricultores tratan de mantener una meseta de agua elevada porque la tierra es de contextura tan ligera que no produciría bien en otra forma, pero al mismo tiempo tienen que mantener extensos sistemas de desagüe para lavar las sales superficiales. Se sabe que es muy beneficioso el sistema de alternar los subriegos con los desagües y los agricultores están mejorando continuamente sus prácticas.

La zona de Flatbush, de la planicie costera de Florida, contiene muchas áreas en las que se practican los subriegos. Comprende una gran zona a lo largo de las costas del Atlántico y del Golfo, en la península de Florida, y muchas millas tierra adentro. A diferencia de las áreas que he mencionado, los subriegos en la zona de Flatbush no se practican generalmente como empresa de grupo en una gran área que contenga muchas granjas adyacentes, sino que se llevan a cabo en forma individual, y, por consiguiente, esas áreas individuales se encuentran ampliamente esparcidas. La práctica de emplear subriegos ha aumentado rápidamente, especialmente en relación con el desarrollo de pastos mejorados.

La topografía es plana o casi plana. Los declives rara vez exceden de 2 pies por cada 100. Ordinariamente la superficie es tan plana que no requiere nivelación alguna.

Aunque los diferentes perfiles de tierra varían considerablemente, todos consisten de arenas mal desaguadas moderadamente profundas o profundas, con una meseta de agua permanentemente alta que varía en profundidad de casi la capa superficial durante la estación de lluvias hasta 5 pies bajo la superficie en la estación de sequía.

La descripción de un perfil típico de arena Leonfine, uno de los principales subsuelos en donde se emplean subriegos, es la siguiente:

0-9 pulgadas, arena fina compacta de color gris muy oscuro que contiene cantidades considerables de materia orgánica negra.

9-24 pulgadas, arena fina compacta de color gris claro, con muy bajo contenido de materia orgánica.

24-30 pulgadas, arena fina densa, muy compacta. de color negro, con una cantidad considerable de materia orgánica, semiconsolidada en una típica capa dura orgánica.

30-72 pulgadas, arena fina compacta de color café.

La permeabilidad de la capa de 9 a 24 pulgadas es muy rápida y el agua puede moverse libremente en sentido lateral, tanto para riegos como para desagües.

La meseta de agua natural permanentemente elevada y el rápido movimiento lateral del agua en el perfil hacen posibles los subriegos. En estaciones de sequía se construye una meseta de agua artificial sobre la meseta natural, elevada a una altura que suministre humedad adecuada en la zona de raíces mediante la acción capilar.

El agua puede obtenerse de los pozos, arroyos y algunos lagos naturales. La península de Florida cuenta con un buen

suministro de agua artesiana del suelo que puede obtenerse en cantidades suficientes a profundidades económicas de bombeo. Muchos pozos fluyen libremente sin necesidad de bombeo.

Cuando se emplea agua del suelo, los pozos se localizan en los puntos más altos del área que va a regarse. Cuando se emplea agua de los arroyos o lagos, ésta debe bombearse y transportarse a los puntos más altos por medio de tuberías o diques. A veces el agua se transporta por medio de canales subterráneos, empleando bombas de poca succión para elevar el agua a los puntos más altos del área que va a regarse. La topografía determina el medio de transporte que deba usarse, y el agua se distribuye después por gravedad a todos los puntos del área de riego por medio de un sistema de zanjas principales y laterales de campo.

Los sistemas de distribución de campo difieren en diseño, profundidad, forma y espaciamiento de las zanjas principales y laterales, dependiendo del tipo de cosechas. En la zona de Flatbush se subriegan las papas, muchas legumbres y las hierbas de pastura.

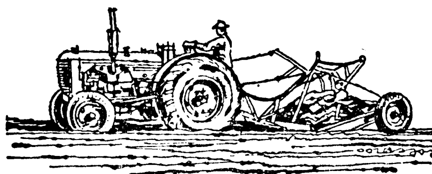
En los subriegos de las pasturas mejoradas, las granjas principales son ordinariamente de forma trapezoidal y contienen estructuras de retención dotadas de compuertas para controlar el nivel del agua. Como las zanjas se usan también para desagüe, a menudo se determinan sus profundidades y áreas seccionales por el volumen de agua que deben remover desde el área de desagüe. Las estructuras se espacían a intervalos verticales que no excedan de 6 pulgadas, y las compuertas se quitan durante la estación de lluvias de junio a octubre, a fin de permitir un desagüe adecuado.

Las zanjas laterales de campo son en forma de V de no menos de 18 pulgadas de profundidad y 8 pulgadas de ancho, que se abren en los contornos o tan cerca de ellos como sea posible. Su longitud se limita ordinariamente a 1,200 pies, y el espaciado horizontal de las zanjas laterales de campo varía entre 60 y 200 pies, dependiendo de las características del suelo que regulan la proporción de movimiento lateral del agua y de la topografía. El intervalo vertical entre las zanjas laterales no debe exceder de 6 pulgadas y debe ser considerablemente menor, a fin de mantener una profundidad razonablemente uniforme de la meseta de agua en el área de riego.

Las compuertas se insertan en las estructuras de las zanjas principales a una altura que mantenga el nivel de agua en las zanjas laterales hasta la altura de los bordos, o muy cerca de ella. Ese nivel se mantiene hasta que la meseta de agua se eleve aproximadamente a 12 pulgadas de la superficie y hasta que la acción capilar haga que el nivel de humedad en las 12 pulgadas superiores del suelo llegue a la capacidad de campo. Cuando esto sucede se suspende el flujo del agua y se deja que la meseta de agua baje hasta una profundidad de 24 pulgadas abajo de la superficie, debido a la utilización de las plantas, a la evaporación y a otras pérdidas, volviendo entonces a aplicarse el agua y repitiéndose el procedimiento.

Cuando todo el sistema se planea, instala y mantiene en forma adecuada, proporciona un desagüe excelente durante la estación de lluvias.

El flujo mínimo que se requiere para el funcionamiento eficiente del sistema es, aproximadamente, de 7.5 galones por minuto por acre regado, si el sistema funciona durante las 24 horas del día. La mayoría de los agricultores y rancheros, sin embargo, prefiere dejar las operaciones de riego para las horas del día, requiriéndose entonces un flujo mínimo aproximado de 15 galones por minuto.



Esta conformadora de 50 pulgadas de ancho es muy económica cuando no se necesitan cortes muy profundos y los acarreos de tierra son a corta distancia, pero una unidad conformadora más grande hace el trabajo más rápidamente.

La eficiencia de la utilización del agua varía considerablemente entre las diversas granjas y ranchos, dependiendo de las características de la tierra, su topografía y la clase de operaciones y prácticas de manejo. Con los sistemas bien diseñados se obtiene una eficiencia del 70 al 75%.

GEORGE M. RENFRO, JR. *es ingeniero de riegos encargado de la técnica del programa de riegos del Servicio de Conservación de Tierras de nueve Estados del Sudeste, Puerto Rico y las Islas Vírgenes, habiendo ocupado diversos puestos en el Departamento de Agricultura desde 1936.*

La preparación de la tierra para un riego eficiente

J. G. Bamesberger

EN MUCHAS GRANJAS se desperdician las tres cuartas partes del agua de riego. Un buen método de evitar esos desperdicios consiste en preparar debidamente los campos antes de que se rieguen.

La preparación de la tierra para los riegos, o nivelación de la tierra como se le llama comúnmente, es la conformación de su superficie para facilitar o mejorar la uniformidad de aplicación del agua, e incluye la inclinación o conformación de la tierra a cualquier declive deseado, así como la formación de un verdadero plano horizontal.

Generalmente esa conformación se hace para obtener declives uniformes o para disminuirlos en dirección de los riegos o a ángulo recto con ella. A veces se aumenta el declive de un campo o se forma otro declive, a fin de poder cambiar la dirección de la siembra. En tierras húmedas la preparación de la tierra es necesaria para proporcionar desagües superficiales y para obtener una penetración más uniforme del agua de riego y de las lluvias.

Debido a diferencias en las tierras, a los declives o a los simples deseos de los agricultores, no todos los campos tienen una superficie uniforme. La preparación de la tierra puede consistir sólo en el rebajamiento de una parte de los puntos elevados y del relleno de otra parte de los lugares bajos, y puede resultar sólo en una ligera mejoría de la superficie y en mejoras insignificantes en la eficiencia de los riegos, o puede hacer posible la conformación de un campo a grado tal que puedan utilizarse en forma benéfica todas las aguas de riego y gran parte de las lluvias.

Muchos de los encargados de riegos en los estados del Sudoeste han empleado una clasificación de los tipos de preparación de tierras que se basa en la eficacia de las diferentes formas de superficies de tierras para mejorar la aplicación uniforme de las aguas.

Esa clasificación comprende 6 tipos: Conformación general (tipo 1); conformación variable en todas direcciones (tipo 2); pendientes uniformes de riego con declives laterales (tipo 3); nivelación transversal con una pendiente variable de riego (tipo 4); con una pendiente uniforme (tipo 5), y finalmente, una nivelación exacta en todas direcciones (tipo 6). Los primeros tres tipos permiten los declives laterales, y los otros requieren que la tierra esté exactamente nivelada a ángulo recto con la dirección de los riegos. Esta clasificación ha sido muy útil y una práctica semejante sería de gran valor en todas las áreas de riego.

Si admitimos que hay diferentes tipos o grados de eficiencia en la preparación de la tierra, tendremos que reconocer que el agricultor o terrateniente debe escoger uno de esos tipos cuando emprende la nivelación de sus tierras. Podemos decir también, en forma general, que debe adoptarse el mejor tipo de nivelación de tierras que sea adecuado para determinado campo; pero hay casos en que un tipo menos eficiente puede ser satisfactorio y más práctico.

LOS DECLIVES de la tierra, clase y profundidad de los suelos, clima, cosechas que se cultiven, suministros de agua para cada campo, consideraciones económicas y la preferencia de los agricultores, tienen que evaluarse conjuntamente para

cualquier trabajo de preparación de tierras.

Si la tierra es muy ondulada, pendiente o irregular, y si los suelos son superficiales, puede no ser posible la conformación de la tierra para obtener declives uniformes en las buenas pendientes de riego. La labranza por medio de riegos puede practicarse con éxito en tierras con pendientes acentuadas y declives desiguales; pero esa tierra debe sembrarse con pastos tanto tiempo como sea posible, a fin de evitar la grave erosión del subsuelo.

La creación de una pendiente uniforme exclusivamente en dirección de los riegos, puede ser a menudo el tipo más práctico de nivelación de la tierra, y esto es especialmente cierto en aquellos campos que tienen muy poco declive transversal y en los que las cosechas se regarán siempre por medio de surcos o corrugaciones. Este tipo de nivelación es especialmente satisfactorio en los huertos.

Algunos campos extremadamente irregulares, o los campos irregulares que tienen tierras superficiales, no permitirán el empleo de una preparación muy intensa de la tierra, y esto sólo puede determinarse mediante el estudio de los cortes necesarios para obtener una nivelación mejor, aunque a menudo serán tan extensos que habrá que remover grandes cantidades de tierra o la tierra fértil no tendrá la profundidad suficiente para permitir que se hagan esos cortes sin dejar al descubierto demasiado subsuelo estéril. Por otra parte, a menudo puede hacerse una nivelación de tipo muy avanzado en campos con tierras muy superficiales, si su declive es poco acentuado y hay una superficie casi uniforme.

La mayoría de las operaciones de nivelación debe dar por resultado la conformación de la tierra a un declive uniforme en dirección de los riegos, removiendo todas las pendientes que se encuentren en ángulo recto con ellos, especialmente donde los riegos se hacen por medio de inundaciones. Una buena pendiente de riego, diseñada de acuerdo con las proporciones de infiltración de la tierra, tamaño de las corrientes de riego disponibles, cosechas que se cultiven y riesgos de la erosión causada por las lluvias, permite la distribución uniforme del agua y es de especial importancia en este tipo de nivelación.

La tierra conformada a un nivel exacto, sin declives en cualquier dirección, permite los riegos más eficientes. Pueden aplicarse a la tierra solamente las cantidades de agua que son necesarias, así que no hay ningún desperdicio por desbordamiento; pero este sistema es práctico para todos los campos. Su costo es muy elevado y su empleo se limita a aquellos sitios en donde las corrientes de agua disponibles son lo suficientemente grandes para forzar el agua en toda la longitud del recorrido de los riegos antes de que se absorba mucha humedad en el extremo donde se inicia la aplicación, ni es tampoco adecuado para áreas húmedas, en donde a menudo hay que desaguar de los campos una precipitación excesiva.

Los tipos de preparación de tierra que permiten una pendiente transversal a ángulo recto con la dirección de los riegos son más adaptables a todo un campo que aquellos tipos en que debe eliminarse todo declive transversal. Ordinariamente se requieren cortes excesivos para eliminar ese declive transversal, y esto puede ser demasiado costoso o puede necesitar cortes que dejen al descubierto grandes áreas estériles del subsuelo. Por lo tanto, si se desea emplear estos tipos más avanzados de conformación que eliminan los declives laterales en terrenos muy pendientes, el campo se divide a menudo en secciones y la nivelación se hace en fajas o "tierras" a diferentes alturas, separadas por bordos bajos. A esto se llama comúnmente nivelación de banco, especialmente si hay considerables diferencias de altura entre fajas adyacentes. Esos bancos pueden ser rectangulares o tener linderos curvos.

El ancho de los bancos quedará influenciado por el equipo de labranza que se use, la corriente de riego disponible y la cantidad de terracerías necesarias. A su vez, la cantidad de terracerías depende del declive original en ángulo recto con la dirección del riego. La profundidad y características de la tierra, limitarán naturalmente la profundidad de los cortes y, en consecuencia, el ancho de los bancos.

Los trabajos de nivelación no pueden cambiarse fácilmente una vez que han sido terminados, así que hay que tomar toda clase de precauciones para cerciorarse de que las pendientes de riego, recorridos y corrientes, se ajusten en tal forma que pueda regarse uniformemente el campo. La única forma de evitar errores consiste en obtener la información por medio de experimentos reales de campo. La medición de las proporciones de penetración de la humedad, movimientos de tierra y uniformidad de la proporción del flujo del agua, suministrarán la información necesaria para escoger una pendiente adecuada y la longitud del recorrido para una tierra determinada. Es sumamente importante obtener esas determinaciones en el campo como base para el diseño del proyecto.

La selección del tipo de nivelación y el diseño de varios campos deben considerar siempre las cosechas que se cultiven por medio de una rotación completa. Debe ajustarse el ancho de los bordos y bancos para el empleo de implementos de labranza ordinarios. Por ejemplo, un banco en el que se vaya a cultivar maíz debe ser de un múltiplo del ancho de la sembradora que se emplee. Cuando sea posible, los bancos deben hacerse de ancho uniforme, ya que una variación excesiva causa riegos desiguales. Algunos agricultores escogen el ancho mínimo aceptable de manera que la diferencia de altura entre los bancos sea pequeña y que tengan que moverse menores cantidades de tierra. Muchos otros prefieren hacer los bancos tan anchos como sea posible, a fin de que haya menos interferencia en las operaciones de labranza.

La relación de los beneficios obtenidos con los costos de preparación de la tierra influencia la selección de los tipos. Si es posible, debe escogerse el tipo más eficiente que sea adecuado para un campo determinado, planeándose y ejecutándose con la menor demora posible. Esto ordinariamente es menos costoso a la larga que ejecutar el trabajo en etapas sucesivas que requieren varios años para terminarlo.

Existe una relación directa entre los métodos de riego y el aumento de la eficiencia que puede obtenerse mediante la preparación de la tierra. Algunos métodos de riego pueden ser poco eficientes, y como la buena preparación de la tierra sólo puede mejorarlos ligeramente, no se justifica una costosa preparación. Por lo tanto, además de las restricciones impuestas por las limitaciones físicas, la selección de un tipo de preparación de tierra debe regirse en cierta forma por el método de riego que vaya a usarse.

El riego por medio de cuencas inunda rápidamente una área más o menos cuadrada con la cantidad deseada de agua, y puede ser eficaz para obtener una aplicación uniforme si está bien diseñado, y por tanto, puede justificarse un tipo avanzado y costoso de preparación de tierras. Generalmente las cuencas están completamente niveladas o, por lo menos, quedan niveladas en un sentido con muy poco declive transversal.

Sin embargo, no es un método satisfactorio en áreas de lluvias abundantes, a menos que pueda desaguarse el exceso de los campos para evitar el estancamiento perjudicial del agua.

Los bordos, que son cuencas largas y angostas, pueden usarse también eficazmente para obtener riegos uniformes. Como el agua tiene que fluir a todo lo largo del bordo, generalmente se les dota de un declive en la dirección del riego, y la proporción de ese declive depende principalmente de la corriente de riego disponible, de las tierras, del clima y de las cosechas. El mejor tipo de preparación de tierra para los riegos de bordos es un declive uniforme en la dirección de los mismos, sin ningún declive transversal. El empleo altamente eficiente de las aguas de riego que es posible obtener con los riegos de bordo, justifica el costo de la preparación de la tierra. En este caso las lluvias excesivas constituirán nuevamente un problema en áreas húmedas, por lo que es necesario que haya un declive suficiente para remover el exceso de agua.

Los bordos se usan para distribuir el agua en los campos, y pueden hacerlo eficazmente por medio de un diseño bien preparado y manejado. Los bordos deben tener una pendiente uniforme en toda su longitud para que sean más eficaces o pueden estar perfectamente nivelados, pe-

ro no es perjudicial cierto grado de declive lateral en el campo. Si sólo se van a emplear riegos de surcos, rara vez debe escogerse el tipo más avanzado de preparación de tierra. Sin embargo, la rotación de cultivos empleada en la mayoría de los campos incluye tanto cosechas de surco como cosehas que crecen estrechamente unidas, y como los riegos de bordos son los mejores para las cosechas que crecen estrechamente, tales como la alfalfa, el criterio de los riegos de bordo regirá ordinariamente la selección de un tipo de preparación de tierra aun cuando vaya a emplearse el método de riegos de surco.

Los riegos por medio de corrugaciones, que son surcos pequeños y estrechamente espaciados, ordinariamente es mucho menos eficiente que los métodos de surcos, bordos, cuencas o rociadores. Esto se debe en gran parte a la dificultad de igualar el flujo en muchos pequeños canales y mantener las corrugaciones libres de obstrucciones, a fin de impedir que se desborden en las corrugaciones adyacentes. Además, las corrugaciones son tan superficiales que no toleran más que un mínimo de declive en ángulo recto con su dirección, lo que hace que los riegos se efectúen hacia abajo del declive más acentuado. A menos que desde un principio los campos sean prácticamente uniformes, un diseño avanzado de preparación de tierras, tal como el de pendientes uniformes y declives transversales que se adapta a riegos directamente hacia abajo de los declives, necesitará cortes y rellenos tan excesivos que harán imposible el trabajo. Además, la posibilidad de mejorar la distribución del agua de riego en grado apreciable, no es suficientemente prometedora para justificar un tipo avanzado de nivelación y requiere un aumento considerable en su costo. Probablemente el mejor método consistirá en la conformación a un declive bastante uniforme, si se va a continuar con los riegos por corrugación.

Las inundaciones sin control no emplean diques para guiar el flujo del agua de riego. El encargado de los riegos distribuye el agua sobre el campo en la mejor forma posible. Es un método poco eficiente y la preparación de la tierra contribuirá muy poco a mejorar los riegos. Una conformación generalizada y el emparejamiento de la superficie es probablemente toda la nivelación que puede justificarse hasta que esas inundaciones sin control se reemplacen por un método mejor.

PARA LA PREPARACIÓN de un buen plan se requieren inspecciones, mapas y trabajos de ingeniería, y la preparación de la tierra puede no tener valor si no se lleva a cabo de acuerdo con un buen plan. Muchas campos parecen casi llanos a simple vista, pero en realidad están demasiado desiguales para permitir la aplicación uniforme de aguas de riego.

Antes de efectuar cualquier nivelación debe hacerse una inspección de suelos. El mapa que prepare el inspector de suelos mostrará la naturaleza del suelo, del subsuelo y del material que se encuentre bajo este último. Mostrará también la profundidad de los mantos de arena, arcilla, caliche, piedra y otros materiales que puedan limitar la profundidad de los cortes, así como la extensión de esas áreas. Se localizarán los sitios alcalinos y se mostrará la profundidad de la meseta de agua. Esa información ayudará al ingeniero a planear el mejor diseño de nivelación. En algunos casos no serán perjudiciales los cortes en el subsuelo, porque puede añadirse materia orgánica y fertilizantes para reconstruir rápidamente su productividad. En otros casos el ingeniero descubre que si remueve la tierra superficial dejará al descubierto materia inerte en la cual no crecerá ninguna cosecha. Las inspecciones de suelos suministran también información relativa a las proporciones de infiltración y permeabilidad. Si el subsuelo y los subestratos son de arena o marga arenosa con proporciones elevadas de infiltración, los períodos de riego deben ser más cortos que cuando hay marga arcillosa o arcilla bajo la superficie. Para obtener los mejores resultados, el ingeniero debe trabajar conjuntamente con los especialistas en cosechas y los técnicos del suelo, y todos ellos deben considerar el problema en la forma que lo hacen los agricultores.

La nivelación de la tierra es un procedimiento técnico. Se ha demostrado una

y otra vez que el ojo humano no es lo suficientemente bueno para llevar a cabo un trabajo de nivelación de primer orden. Una nivelación precisa sólo puede efectuarse mediante el empleo de instrumentos de agrimensura en manos de técnicos.

Una inspección topográfica y un mapa deben constituir ordinariamente la base para la preparación y diseño de un plan. Además de mostrar la forma y tamaño de un campo, el mapa debe mostrar la topografía superficial, alturas superficiales propuestas y diseños de riego, y las facilidades de desagüe cuando existan. El que tan detallado deba ser ese mapa dependerá de la regularidad de la superficie y el grado de adelanto o tipo del trabajo propuesto. Mientras más avanzado sea el tipo de preparación de tierra que vaya a emplearse, más precisos deben ser los estudios y trabajos de diseño y supervisión.

Puede escogerse el tipo de muchas obras de nivelación tan pronto como se ha examinado el campo o la granja y se han hecho algunas observaciones preliminares, pero a menudo son necesarias inspecciones e investigaciones más detalladas antes de que se llegue a la elección final.

Al planear la nivelación de un campo es conveniente dejar a escuadra el diseño hasta donde esto sea posible, por medio de localizaciones permanentes de zanjas, líneas de vallados o límites de propiedades. A veces es necesario establecer bordos y corrientes de riego en sentido diagonal a través de un campo, lo que complica la localización de las zanjas de campo, hace más difíciles los riegos debido a los diversos largos de los recorridos, aumenta a menudo los problemas de labranza y causa también ciertas pérdidas de tierra en los extremos de los bordos o surcos de cosecha. Sin embargo, por medio de la relocalización de las zanjas y vallados de los campos, a menudo es posible obtener un diseño más adecuado y económico para la nivelación de las tierras y para los riegos, en que los límites del campo queden a escuadra con el diseño de riego.

Después de que se ha terminado el diseño, pueden hacerse cálculos de las terracerías necesarias y de su costo. Es muy importante que el agricultor tenga una copia de los cálculos hechos por el ingeniero, y todos los interesados deben conocer exactamente el plan de trabajo y la forma en que va a llevarse a cabo. En las obras grandes, y especialmente en aquellas que se hacen bajo contrato, los planos deben ir acompañados por especificaciones escritas, aunque sean breves. Las obras por contrato deben quedar amparadas por lo menos con un convenio privado por escrito entre el agricultor y el contratista.

PUEDE LLEVARSE a cabo la construcción empleando equipos diversos. La nivelación debe terminarse hasta obtener las pendientes requeridas. La terminación de una obra económica y bien hecha no depende sólo de la clase adecuada de equipo sino también de la pericia de los operadores.

La nivelación de tierras se efectúa más eficazmente con equipo remolcado por tractores o movido por sus propios motores. Se emplea extensamente el transportador universal, que es una máquina muy eficiente.

Con ellos se hacen los cortes necesarios para obtener las pendientes, se esparce la tierra uniformemente y se acarrean materiales en forma económica a distancias considerables. Los transportadores universales se hacen en capacidades de 3 a 30 yardas cúbicas, y casi siempre requieren más energía de la que hay disponible para los tractores agrícolas.

Las conformadoras pequeñas con ruedas, que pueden emplearse con tractores agrícolas, se usan comúnmente para nivelar la tierra. Pueden mover la tierra tan económicamente como el equipo más pesado, pero necesitan más tiempo para llevar a cabo la tarea. En la mayoría de los casos los transportadores universales y las conformadoras de ruedas pueden emplearse para abrir cortes sin necesidad de arar antes la tierra, pero a veces es necesario aflojar las tierras apretadas o duras rompiéndolas antes de emplear maquinaria para su nivelación.

Los escariadores se usan en trabajos preliminares de nivelación, pero no son eficientes para nivelaciones finas o para mover tierra a distancias mayores de 200

pies. Las conformadoras, máquinas de terracerías y de mantenimiento, se emplean frecuentemente para mover tierra a cortas distancias a los lados, pero el costo por yarda es bastante alto aun a cortas distancias.

Las obras de nivelación se terminan por medio de niveladores, apisonadores o cepillos de tierra más bien que con equipo pesado para mover tierras. El cepillo de tierra tiene cuatro ruedas y una hoja ajustable colocada, aproximadamente, en el centro del bastidor. Tiene un largo mínimo de 60 pies y esa gran longitud hace posible trabajar un campo dejando una superficie uniformemente lisa, habiendo necesidad de emplear tractores grandes para moverlos.

El tipo automático de nivelador de dos ruedas se usa ordinariamente en nivelaciones finas. Tiene una hoja movible, colocada aproximadamente en su centro y construida en tal forma que arrastra un considerable volumen de tierra. Ordinariamente tiene menos de 35 pies de largo, pudiendo moverse con tractores agrícolas de tamaño mediano. Es mucho menos eficiente que un transportador universal para mover grandes cantidades de tierra o para mover tierras a grandes distancias. El apisonador de madera o rastra común se emplea en muchas formas por lo que hace a variedad de diseño. Generalmente es más corto que los otros dos tipos de niveladores y, por lo tanto, no es tan eficiente como ellos en los trabajos de nivelación.

Independientemente del tipo de equipo que se emplee, el trabajo debe inspeccionarse mientras se está llevando a cabo, siendo necesaria otra inspección final cuando se haya terminado la obra, antes de que el equipo se saque del campo.

Se necesita también otra clase de equipo para las zanjas de granja, surcos de bordos y varias mejoras más relacionadas con la preparación de la tierra y con el planeamiento de los riegos. Hay varios tipos de arados pesados para abrir zanjas que hacen un buen trabajo y ayudan a la construcción económica de las zanjas principales. Los bordos se construyen con conformadoras de carreteras, arados pesados, arados con rejas en V, arados de discos para surcos, conformadoras de deslizamiento, conformadoras "Fresno", apisonadores tipo A y otros implementos de labranza. La mayor parte de ellos dejan un surco o zanja pequeña a lo largo de las paredes de los bordos, que debe ser aplanado o rellenado antes de que pueda darse por terminada la preparación del campo, a menos de que ese surco se necesite para el desagüe de áreas planas.

En una granja de regadío debe haber a la mano equipo eficiente para la construcción y mantenimiento de las zanjas principales y bordos, porque el voltear esas zanjas y bordos cada vez que se ara un campo es una práctica recomendable, a fin de matar las hierbas. A menudo deben reemplazarse las zanjas temporales de campo durante la estación de riego.

El costo de nivelación de la tierra varía tan extensamente que las cifras generales que puedan darse tienen poco valor. En algunas tierras un precio de 10 dólares por acre sería excesivo.

En otras tierras que están demasiado pendientes pero que son capaces de producir cosechas de alto valor, podría justificarse un costo de 300 dólares por acre. Todo depende del valor del incremento en los rendimientos de las cosechas que puedan esperarse con la mejoría de los riegos.

Para todo aquel que necesita una cifra promedia, puede fijarse un costo aproximado de 50 dólares por acre, que se deriva de los registros que cubren la preparación de más de medio millón de acres de tierras en el Sudoeste. Esos registros muestran que el equipo pequeño y liviano movido por tractores agrícolas efectuó los trabajos de nivelación a un costo no mayor que si se hubiera empleado equipo grande y pesado, aunque se necesitó más tiempo para efectuar el trabajo. El costo de la preparación de la tierra llevada a cabo por contrato o su costo cuando se efectuó con el propio equipo del agricultor, fueron aproximadamente iguales.

LA CONSERVACIÓN de la tierra nivelada es necesaria a fin de mantenerla en ese estado. No deben plantarse cosechas perennes, tales como alfalfa, inmediatamente después de la nivelación. Como los rellenos se hundirán dejando irregu-

laridades en la superficie del suelo cuando se aplique el agua, es mejor sembrar una cosecha anual el primer año. Cuando se ha removido esa cosecha deben rellenarse los sitios bajos y acondicionarse todo el campo antes de que se plante otra cosecha que lo ocupe durante varios años.

Si las operaciones de nivelación han dejado al descubierto subsuelos estériles, se recomienda plantar una cosecha de abono verde durante el primer año, que deberá enterrarse para añadir materia orgánica a la tierra. Como regla general será necesario añadir algún fertilizante comercial, ya que las áreas de donde se ha removido la capa superficial serán mucho menos fértiles que esa capa original. Puede usarse una abundante aplicación de estiércol de establo en lugar de la cosecha de cobertura.

Generalmente resulta beneficioso plantar una cosecha de surco después de la de abono verde o durante el primer año. El cultivo tiende a mezclar la tierra removida, afloja las áreas que se han consolidado por la maquinaria de nivelación, permite que el aire entre más fácilmente y crea condiciones más favorables para las bacterias del suelo.

Al arar la tierra deben eliminarse los surcos de fondo y los muertos. No debe ararse de modo que se mueva continuamente la tierra en una sola dirección. Cada vez que se ara un campo tendrá que terminarse con un apisonador o implemento de nivelación semejante, a fin de evitar que se formen sitios altos y bajos. En los tipos menos avanzados de nivelación, las operaciones ordinarias de labranza y mantenimiento dan oportunidad al agricultor para mejorar progresivamente el trabajo de nivelación de sus campos hasta que se hayan obtenido los mayores refinamientos posibles.

Se necesita también la conservación en aquellos campos que se han regado con aguas cargadas de sedimentos. La acumulación de sedimentos tiende a azolvar con el tiempo los extremos superiores de los bordos o surcos. El sedimento nunca se deposita de modo uniforme, y hay que volver a nivelar debidamente la superficie del suelo antes de que se vuelva tan irregular que interfiera con la eficiencia de los riegos.

Además del plan de nivelación de la tierra debe prepararse un plan general que cubra la localización y capacidades de las zanjas, estructuras de control del agua, práticas de cultivo, y un programa tentativo de riegos que se base en la mejor información que sea posible obtener sobre las proporciones de filtración y la capacidad de retención del agua de la tierra. La preparación de la tierra es sólo un factor en la utilización eficiente del agua de riego, debiendo tenerse en cuenta los demás factores, ajustando el plan de nivelación de la tierra a los demás planes si se quiere obtener la mayor eficiencia.

Son muchos los beneficios que se derivan de una obra de nivelación de tierras que se haya planeado, construido y manejado en buena forma. La nivelación hace posible la distribución más uniforme del agua de riego, controlándola y manejándola de mejor manera. El resultado se traduce en economía de agua, ahorro de mano de obra, plantíos más uniformes y un incremento en los rendimientos de las cosechas de mejor calidad.

Un campo escarpado o disparejo recibirá muy poca agua en los sitios altos y demasiada en los bajos. Cuando se aplica poca agua, una cosecha se madurará prematuramente si es que sobrevive, y el exceso de agua tiende a hacer que las cosechas se maduren más tarde. Además, los sitios bajos se mantienen húmedos por mayor tiempo que el resto del campo, lo que a veces obliga a los agricultores a efectuar cultivos a su alrededor. En ocasiones pueden cultivarse cuando están demasiado húmedos, lo que produce un estancamiento. El álcali y las sales perjudiciales ordinariamente se acumulan en las áreas bajas, pero a veces pueden eliminarse esos sitios mediante la nivelación de la tierra. Los riegos continuos año tras año a profundidades mayores de la zona de raíces, seguramente ocasionarán la pérdida de valiosos elementos de la tierra y una disminución en su fertilidad. De la misma manera, los riegos demasiado abundantes en muchos tipos de tierras. hacen necesario desaguarlas a la

larga. En un campo debidamente nivelado las pérdidas de tierra causadas por la aplicación de aguas de riego pueden mantenerse al mínimo, y además de los beneficios más tangibles que se obtienen con la nivelación, se realiza el aspecto general de una granja cuando a un buen trabajo de nivelación siguen otras mejoras en el esquema de riegos.

J. G. BAMESBERGER *encabeza la Unidad de Ingeniería y Planeación de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Conservación de Tierras en Albuquerque, New Mexico. Fue ingeniero regional del Servicio durante 15 años y ha tenido 25 años de experiencia en ingeniería de riegos de granjas en los estados del Oeste.*

Pozos y bombas para tierras de riego

Carl Rohwer

EN GRAN PARTE de las regiones áridas y semiáridas de los Estados Unidos de Norteamérica, el agua de los arroyos se utiliza totalmente para riegos, y cuando queda todavía agua sobrante, el costo de llevarla a la tierra es demasiado elevado. En esos sitios, por lo tanto, el bombeo del gran depósito de agua del suelo es la única fuente adicional de agua para riegos.

Los factores que hay que considerar para tener éxito en el desarrollo de empresas de riego por medio del bombeo de pozos, son: el suministro del agua del suelo, la tierra, el pozo, la bomba y sus accesorios, las cosechas y los mercados.

El suministro de agua ocupa el primer lugar. Si no es adecuado o si la calidad del agua es poco satisfactoria, no hay necesidad de considerar los otros factores.

La tierra le sigue en importancia. Esta debe ser fértil y tener una topografía adecuada para riegos.

Ordinariamente es más difícil encontrar un suministro adecuado y aceptable de agua del suelo que encontrar tierras que sean apropiadas para la labranza. En la mayoría de las regiones áridas y semiáridas hay agua bajo la superficie del suelo, pero a menudo sus condiciones no son favorables para utilizarla en el riego de las cosechas. A veces queda tan profunda que el costo de bombeo es excesivo, o la formación en que ocurre es tan apretada que el agua no se obtiene con facilidad o si acaso es tan limitada en su volumen que el suministro se agotaría rápidamente. Puede suceder también que la recuperación del depósito de agua del suelo sea tan lenta que no justifique el extenso desarrollo del área, o que el suministro de agua contenga demasiada sal.

Los depósitos de aluvión que contienen gruesas capas de arena y arcilla saturadas de agua son los más favorables para obtener un buen suministro de ella. Los amplios valles abiertos, atravesados por ríos o regados mediante una red de canales, constituyen sitios ideales. El escurrimiento de los ríos y canales y las pérdidas por filtración profunda debidas a los riegos, aseguran casi siempre la recuperación adecuada de los depósitos de agua del suelo. En esos valles la meseta de agua se encuentra ordinariamente bastante cerca de la superficie, lo que constituye un factor importante desde el punto de vista de los costos de bombeo.

No se pueden dar reglas precisas para aplicarse a la profundidad del agua más allá de la cual no sea factible el bombeo para riegos, ya que esto depende primordialmente del valor de las cosechas que se produzcan. En California y Texas, en donde se cultivan frutas, algodón y legumbres de invierno, son comunes las succiones de 400 a 500 pies; pero en otras áreas donde se cultivan cosechas generales de granja, el máximo probable es de 100 pies, excepto en condiciones especiales. Si se emplean rociadores, el total de las succiones de bombeo puede ser mayor porque ordinariamente se requiere menos cantidad de agua.

El agua no necesita ser potable, pero no debe contener una elevada concentración de sales que puedan ser perjudiciales para las plantas o la tierra. El agua de calidad dudosa debe analizarse para determinar qué álcais se encuentran presentes y los porcentajes de cada uno.

La mayoría de los estados tienen procedimientos bien definidos que estable-

cen el derecho de desviación de aguas de los arroyos para fines de riego, pero no para establecer el derecho de bombearla de las fuentes subterráneas. Las leyes que reglamentan el bombeo de pozos difieren extensamente en los diversos estados, lo que hace necesario precisar el derecho legal de bombeo consultando a los ingenieros estatales, y si hay que establecer la prioridad de ese derecho, deben presentarse los documentos necesarios ante las autoridades correspondientes.

Los pozos para riego difieren de los que se emplean para suministrar agua para consumo doméstico. Debido al gran volumen de agua que hay que bombear de un pozo aun para regar una pequeña granja, se necesita equipo especial para su perforación y hay que emplear perforadoras pesadas.

El colador del pozo (o la cubierta de grava si se requiere) tiene que diseñarse de acuerdo con el material de la capa productora de agua de modo que detenga la arena fina sin causar pérdidas excesivas de carga que aumenten la succión de bombeo. La tubería del pozo debe ser fuerte y durable, y lo suficientemente grande para permitir la instalación de una bomba de la capacidad requerida. El pozo debe localizarse en un sitio donde pueda tener acceso a una buena capa productora de agua; pero debe localizarse también, si es posible, en donde pueda dar servicio a toda el área que haya que regar con un costo mínimo para el sistema de distribución.

La práctica ordinaria consiste en tratar de encontrar un sitio para el pozo en el punto más alto de la tierra que hay que regar o cerca de él, ya que desde ese punto puede regarse por gravedad toda la superficie. Sin embargo, podría no ser satisfactorio el acuífero que se encontrara en ese sitio, y la clase de formación que se encuentre no puede determinarse sin efectuar una investigación, lo que requiere la perforación de taladros de prueba. Si esos taladros muestran que la formación no contiene la arena y grava suficientes para producir un buen pozo, se hacen otras perforaciones de prueba.

Cuando se encuentra un sitio que contenga un acuífero adecuado, el pozo de riego se perfora hasta llegar a él, pudiendo no ser la localidad más favorable desde el punto de vista del riego de la tierra; pero esto tiene menos importancia que el lograr un buen pozo.

La mayoría de los pozos de riego se perforan en formaciones no consolidadas de aluvión, y las máquinas que se emplean para perforarlos son del tipo que se adapta a la perforación de materiales suaves. En California se emplea generalmente el método de cubeta de lodo. La cubeta se fija en una barrena especial que se adapta a una perforadora con la fuerza suficiente para hacer funcionar el equipo y elevar el cubo cargado hasta la superficie. Debido a su gran peso, la cubeta de lodo puede atravesar capas de rocas bastante duras.

Se emplea tubo de doble pared para forrar la perforación. El tubo se fuerza hacia abajo por medio de potentes gatos hidráulicos a medida que la perforación avanza. Los pozos perforados de este modo tienen de 12 a 16 pulgadas de diámetro y pueden alcanzar una profundidad mayor de 1,000 pies. Después de que se perfora el pozo hasta la profundidad requerida, la tubería del forro se perfora al nivel de la formación productora de agua, abriendo en ella hendiduras o taladrando agujeros con equipo especial de perforación. En California y en otras partes se han perforado miles de pozos con este sistema.

Los pozos superficiales hasta de 100 pies de profundidad y de diámetro pequeño pueden perforarse con una cubeta de arena y cualquier perforadora de pozos con barrenas de azadón. En los pozos más grandes se usa una barrena segmentada de gajos para remover el material de la perforación. Los pozos perforados con estos dos sistemas se forran generalmente con tubo galvanizado liviano construido con lámina del núm. 12 al núm. 16 que se enrolla en forma de cilindro remachando luego las costuras. El forro se fuerza hacia abajo por medio de palancas o cargando su parte superior con la arena que se extrae de la perforación. El forro se perfora antes de instalarse, taladrando agujeros o abriendo hendiduras del tamaño requerido en las láminas de metal antes de formar los

cilindros. Este método sólo puede usarse cuando no se encuentran capas de roca.

A veces se emplean perforadoras rotatorias del tipo usado en los pozos de petróleo para la perforación de pozos de riego; pero no son adecuadas para perforar materiales no consolidados, y sólo resultan eficaces en los mantos de capas duras, arcillas calcáreas, piedras areniscas o formaciones sedimentarias semejantes. La perforación se efectúa haciendo girar una barrena que se fija a un mandril hueco, a través del cual se fuerzan lodos de perforación a muy alta presión. Esos lodos suben a la superficie por fuera del mandril, arrastrando los desechos de la perforación. Esas perforaciones pesadas son demasiado costosas para moverse e instalarse para que su uso se justifique en la perforación de pozos poco profundos.

El sistema rotatorio de circulación inversa es muy eficaz para perforaciones de pozos de gran diámetro a una profundidad no mayor de 200 pies, en materiales no consolidados. Su principio de funcionamiento consiste en que el agua de la perforación se absorbe hacia arriba a través del mandril hueco en lugar de forzarse hacia abajo como en el sistema rotatorio normal. El material que se remueve del fondo del pozo a medida que progresa la perforación, sube a la superficie arrastrado por esa corriente de agua. Como el agua se mueve hacia arriba dentro del mandril a gran velocidad, puede arrastrar partículas mayores que el lento movimiento ascendente del agua en el exterior del mismo en las perforadoras rotatorias normales.

La desventaja del método rotatorio normal a este respecto aumenta a medida que crece el diámetro de la perforación, porque la velocidad del flujo varía inversamente al cuadrado del diámetro del pozo.

Cuando se emplea el método rotatorio inverso, la perforación se conserva llena de agua para evitar que se hunda. No se necesita forro mientras se está perforando el pozo, y después que la perforación se ha terminado se instala el forro, que es de menor diámetro que la perforación. El espacio intermedio se rellena con grava escogida. El forro se perfora antes de instalarse en el pozo, y el área perforada se basa en la localización de la formación productora de agua, que se determina mientras la perforación se efectúa.

Los pozos perforados con el método rotatorio inverso, producen frecuentemente mayores rendimientos para el mismo abatimiento del nivel que los que se perforan empleando otros métodos. Parte de ese aumento se debe al mayor tamaño de los pozos; pero probablemente el hecho de que la cubierta de grava puede colocarse con mayor precisión en el pozo es un factor más importante. Además, como no se neecsitan lodos de perforación para sacar el material excavado a la superficie, no hay peligro de obstruir con ellos la formación productora de agua.

Otra razón para la mayor eficiencia del método consiste en la rapidez con que pueden perforarse los pozos. Bajo condiciones favorables se pueden hacer 100 pies de perforación en 8 horas. Debido al rápido progreso de la perforación los acuíferos no sufren disturbios como con otros métodos en los que la vibración de los cubos de desagüe o herramientas del sistema normal comprime el material.

El costo de perforación de los pozos de riego varía con su diámetro, profundidad, naturaleza de la formación, diámetro y grueso de la tubería del forro y el tipo de colador y forro de grava. El costo de un pozo de 36 pulgadas, con tubería de lámina de 18 pulgadas, es de 15 a 20 dólares por pie, cuando se perfora con el método rotatorio inverso, incluyendo en ese costo el del forro de grava. Las perforaciones de prueba en formaciones de aluvión que se hacen ordinariamente por el sistema rotatorio normal, cuestan de 50 centavos a un dólar por pie, sin que sea necesaria la tubería de forro. La perforación en roca es más costosa.

Se pueden obtener muestras más precisas de las formaciones subterráneas si las perforaciones de prueba se hacen con una cubeta de arena. El procedimiento es más costoso porque hay que forrar la perforación y porque su progreso es muy lento; pero si hay alguna duda sobre la naturaleza de las formaciones, debe emplearse este método.

Hay que desarrollar el pozo para obtener su máxima capacidad para un abatimiento dado. El proceso de desarrollo remueve los materiales finos de la formación cerca del colador del pozo, abriendo así los conductos de manera que el agua pueda fluir al pozo más libremente. El procedimiento, efectuado debidamente, puede aumentar hasta en un 50% la capacidad del pozo.

El método común de desarrollar un pozo consiste en el empleo de un bloque de flujo que se bombea hacia arriba y hacia abajo en el nivel de la arena productora de agua por medio del equipo de perforación. Otro método consiste en usar una bomba de prueba, que se arranca y se para alternativamente para producir una acción de flujo que lava los materiales finos de la formación. A veces se emplean bombas de succión de aire para el desarrollo de los pozos.

Se usa también hielo seco que se echa en trozos en el pozo. Su rápida gasificación en el agua causa un violento disturbio que desaloja todas las materias finas. A veces se tapa el pozo cuando se emplea hielo seco, procedimiento que crea una presión dentro de él que fuerza el agua a través del colador. Cuando se alivia la presión abriendo la válvula de la tapa, se hace que el agua fluya de nuevo al pozo, y ese flujo inverso arrastra las materias finas fuera de la formación llevándolas al pozo. Después de que se ha creado un flujo artificial por cualquiera de esos métodos las materias finas que quedan en el fondo del pozo se remueven con una cubeta de arena. Todos estos métodos dan resultados satisfactorios si el trabajo se hace en forma adecuada. Sin embargo, el desarrollo de un pozo debe encargarse siempre a un perforador experto, porque los métodos inadecuados pueden causar perjuicios al mismo.

Se debe probar la capacidad de todo pozo de riego antes de que se compre la bomba requerida, porque ésta debe adaptarse al pozo con toda precisión a fin de obtener una instalación que rinda la máxima eficiencia. La prueba debe precisar el nivel del agua antes de que se comience el bombeo y el abatimiento de ese nivel a diversas proporciones de descarga. La proporción máxima obtenida con esas pruebas debe aproximarse a la proporción a que funcionará la bomba. Debe medirse la descarga en cada proporción de bombeo por medio de un implemento de medición adecuado, ya sea una represa, orificio de salida, canalón "Parshall" o tubo "Pitot". Debe bombearse el pozo a cada proporción diferente hasta que el abatimiento de nivel sea constante. Si el abatimiento continúa en forma considerable después de varias horas de bombeo, es indicio seguro de que se está excediendo la capacidad del pozo. El continuo abatimiento puede deberse a una obstrucción con arena del forro de grava o colador, o a una falla para producir agua suficiente en la formación. A veces se debe también al escaso volumen del depósito del agua del suelo.

Generalmente el perforador lleva a cabo la prueba del pozo, porque su equipo está en el sitio y puede instalar la bomba de prueba sin necesidad de equipo adicional. La mayoría de los perforadores cuentan con bombas de prueba, no recomendándose que se use una bomba nueva para este objeto, porque la mayoría de los pozos recién perforados tienen cierta cantidad de arena que puede desgastar los impelentes y dañar los cojinetes, lo que disminuye la eficiencia de la bomba. Sería muy perjudicial si la bomba que va a instalarse permanente en el pozo se empleara en las pruebas. Como las bombas de prueba sólo se usan durante cortos periodos de tiempo, no es indispensable que tengan una eficiencia muy elevada.

Todavía no se comprende muy bien la hidráulica de los pozos, es decir, la teoría del flujo del agua desde las formaciones que la producen hasta el pozo, bajo diferentes condiciones; pero se han establecido algunos principios que pueden ser útiles para el diseño de pozos destinados a riegos.

La capacidad de un pozo es proporcional a la permeabilidad de los mantos arenosos productores de agua, y es aproximadamente proporcional al espesor de la formación, así como a la baja de nivel. La capacidad aumenta a medida que aumenta el diámetro del pozo, pero en menor

proporción, y disminuye a medida que aumenta el área influenciada por el bombeo del pozo. El efecto del área de influencia no es muy importante.

Si se aumenta el diámetro del pozo, sólo aumentará ligeramente la descarga; pero el escoger un pozo de gran diámetro ofrece ciertas ventajas. La velocidad del agua a través de la arena y grava que rodean al pozo es menor, disminuyendo el peligro de arrastrar arena hasta él. Como el colador puede ser más grande, es posible hacerle un número adecuado de perforaciones sin debilitarlo demasiado, y hay menos peligro de obstruir un colador de gran tamaño que tenga perforaciones adecuadas. Además, hay menos posibilidad de que se formen depósitos de substancias químicas contenidas en el agua, ya sea en el colador o en la arena y grava si la velocidad del agua no es muy grande, porque son menores los cambios de presión que causan esos depósitos. En un pozo de gran tamaño se pueden instalar bombas más grandes que tienen mayor capacidad y eficiencia más elevada y que funcionan a velocidades más bajas.

La descarga de los pozos en formaciones artesianas es directamente proporcional al abatimiento. En formaciones no artesianas varía la proporción de aumento de la descarga con el abatimiento. En los pozos no artesianos se obtendrán las tres cuartas partes de la descarga máxima cuando el abatimiento es igual a la mitad de la profundidad del agua en el pozo antes de que se inicie el bombeo. Si se aumenta el abatimiento del punto medio al fondo del pozo, la descarga sólo aumentará en una cuarta parte de la capacidad del mismo. Por lo tanto, ordinariamente no es factible abatir el nivel del pozo abajo de la profundidad media del agua.

Para obtener el flujo máximo de una determinada formación productora de agua, el pozo debe llegar hasta el fondo de la misma. Si el pozo se perfora solamente hasta la mitad de la formación, el rendimiento para un abatimiento dado será sólo de la mitad de la capacidad de la formación. El aumentar la profundidad de penetración de la formación es uno de los mejores medios de aumentar la capacidad de un pozo.

Cuando los pozos que penetran a la misma perforación se perforan muy cerca uno de otro, interfieren unos con otros y se disminuye la capacidad de cada uno; pero si los pozos están a más de 1,000 pies de distancia uno de otro, ordinariamente no se causarán interferencias graves.

Los pozos de baja capacidad, tales como los que se usan en serie cuando la capa de arena productora de agua tiene sólo unos cuantos pies de espesor, pueden perforarse más cerca unos de otros, y ordinariamente se localizan a una distancia de 50 a 100 pies, aunque a veces se emplean distancias menores. Cuando se bombea una serie de pozos, la interferencia puede disminuir de 10 a 20% la capacidad de cada uno de ellos. Mientras más corta sea la distancia, mayor será la disminución de la capacidad. Debido a esa interferencia que ocurre en las series de pozos y a la dificultad de bombearlos con una sola bomba, a menudo se pueden obtener mejores resultados perforando pozos pequeños a mayores distancias que puedan bombearse independientemente.

LOS COLADORES SE INSTALAN en los pozos a fin de que el agua pueda fluir a ellos con la menor interferencia, impidiendo al mismo tiempo que la arena penetre al pozo. Para ello el colador debe tener una área adecuada de agujeros, cuyo tamaño debe ser tal que sólo las partículas más pequeñas de arena del acuífero puedan pasar a través de ellos.

La pérdida de presión causada por un colador de un pie de diámetro aumenta rápidamente si el porcentaje de los agujeros del mismo es menor del 20%. Sin embargo, si el porcentaje de agujeros se aumenta a más del 20% no disminuye la pérdida de presión. Ese porcentaje de limitación permanece constante, independientemente de la descarga y del tamaño de las partículas de grava en donde se instale el colador. Si éste tiene un diámetro mayor o menor de un pie, el porcentaje de limitación permanece igual, pero es necesario un colador de longitud diferente.

Otra característica de los coladores de

los pozos es la de que la mayor parte del agua penetra al pozo a través de las aberturas que quedan enfrente del tubo de succión de la bomba. Por lo tanto, es indispensable que se perfore ese tubo de succión en tal forma que distribuya el influjo de agua en toda su longitud. De otra manera pueden ocurrir flujos de alta velocidad en la arena que se encuentra frente al tubo de succión y pueden penetrar mayores cantidades de ella al pozo.

LAS CUBIERTAS DE GRAVA se usan conjuntamente con los coladores para ayudar a detener la tierra en la formación productora de agua y para disminuir la pérdida de presión. La grava se criba a un tamaño suficiente para detener la arena de la formación, y esa grava debe tener un tamaño uniforme a fin de obtener la porosidad máxima. El diámetro de las partículas de grava (tamaño del 50%) no debe ser mayor de 5 ó 6 veces el 50% del tamaño de las partículas de arena, si se quiere que la cubierta de grava tenga eficacia para impedir la entrada de arena.

Cuando se utiliza esta regla como base para escoger la grava, la pérdida de presión será pequeña. Si la proporción de la cubierta al acuífero es mayor de 6, la arena puede penetrar en la grava disminuyendo así el espacio de los poros y aumentando la pérdida de presión. Una proporción demasiado pequeña de cubierta a acuífero, aumentará también la pérdida de presión. Casi todos los perforadores de pozos emplean grava demasiado gruesa para esa cubierta.

Si las arenas productoras de agua están bien constituidas (conteniendo partículas en mayor proporción de tamaños) no se necesita cubierta de grava, porque entonces el mismo desarrollo del pozo formará una cubierta natural.

Cuando se emplea una cubierta de grava las perforaciones del colador tienen por objeto detener la grava y no las arenas productoras de agua, empleándose entonces perforaciones mayores que disminuyen la pérdida de presión. En ese caso el ancho de las aberturas sólo necesita ser ligeramente menor que el diámetro de las partículas de grava.

LA CAPACIDAD de la bomba depende del número de acres que haya que regar, de las cosechas que se cultiven y de su diversidad, de la longitud de la estación de crecimiento, de la temperatura y de las lluvias.

La bomba está diseñada para suplementar la deficiencia entre los requisitos de agua de las cosechas y la que se obtiene de otras fuentes, tales como las lluvias y, a veces, los arroyos y las presas. A medida que aumenta la superficie que hay que regar, disminuye la capacidad de la bomba en galones por minuto. Esto se debe a que las cosechas son más variadas y a que no todas tienen que regarse al mismo tiempo. Si la temperatura normal es alta, las cosechas necesitan más agua que las que se cultivan en clima templado, porque son mayores las proporciones de evaporación y transpiración. Cuando se prolonga la estación de crecimiento, la bomba puede funcionar durante mayor periodo de tiempo para suministrar el agua necesaria. Las pequeñas parcelas requieren una bomba con capacidad de 15 a 20 galones por minuto por acre, bajo condiciones normales. Las pequeñas granjas (80 acres) necesitan de 10 a 15 galones, y las granjas más grandes (160 acres, o más), de 5 a 10 galones.

Otro factor que hay que tener en cuenta para decidir la capacidad de la bomba es el suministro de agua disponible en el pozo, establecido de acuerdo con las pruebas de capacidad del mismo. Si las cosechas necesitan más cantidad de agua que la que puede producir el pozo con un abatimiento razonable, habrá necesidad de disminuir la superficie de riego o de perforar otro pozo.

HAY VARIOS TIPOS de bombas disponibles para usarse en los pozos.

La bomba centrífuga horizontal es la más barata; pero su uso se limita a los pozos en donde la altura de succión no excede de 25 pies al nivel del mar, siendo menor a mayores alturas, y debe cebarse antes de que comience a bombear.

Las bombas de pistón pueden usarse cuando se necesitan flujos pequeños y grandes alturas de succión. Actualmente no se usan muy extensamente en los pozos destinados a riegos.

La mayoría de los pozos para riegos están dotados con bombas de turbina de pozo profundo, que arrancan sin necesidad de cebarlas. Los tres tipos principales son la centrífuga, la de flujo mixto y la de hélice. Esta clasificación se basa en el diseño de los impelentes. El tipo centrífugo tiene poca capacidad, pero bombea a presiones máximas con una eficiencia elevada. El tipo de hélice tiene gran capacidad y alta eficiencia a bajas presiones, pero no puede usarse a altas presiones. El tipo de flujo mixto de turbina tiene un impelente que combina algunas de las características de la centrífuga y de la hélice. Tiene capacidad bastante grande y puede instalarse en pozos que tienen forros demasiado pequeños para admitir el tipo de centrífuga.

Las turbinas de pozo profundo pueden lubricarse con aceite o con agua, debiendo observarse las instrucciones del fabricante a fin de que la bomba cuente siempre con la lubricación necesaria.

Ya se fabrican bombas de turbina con motores sumergidos. Todos los tipos de turbinas de pozo profundo darán un servicio prolongado y eficiente si se usan en condiciones apropiadas.

Cada bomba de turbina de pozo profundo está diseñada para funcionar a su máxima eficiencia a determinadas presiones, descargas y proporciones de rotación. Si se cambia cualquiera de esos factores, que están relacionados entre sí, se afectan los demás. Si las condiciones en que funciona una bomba son diferentes de aquellas para las que fue diseñada, la bomba continuará sacando agua a una eficiencia menor. Sin embargo, esa eficiencia puede mejorarse cambiando la velocidad y el diámetro de los impelentes o su tipo, o si el cambio de presión es considerable, añadiendo un paso más, o sea un impelente adicional. Para los pequeños cambios de velocidad de las bombas de tipo centrífugo, la descarga es proporcional a la velocidad; la presión es proporcional al cuadrado de la velocidad, y los caballos de fuerza requeridos son proporcionales al cubo de la velocidad. Las características de las bombas de hélice y de flujo mixto no siguen estas reglas.

Los fabricantes tienen datos completos sobre las características de cada tipo de bomba que producen y pueden suministrar una bomba que llene prácticamente las condiciones de cualquier pozo. Para ello el fabricante debe saber cuánta agua se necesita, el abatimiento del pozo a descargas diferentes, la altura de la tierra que va a regarse en relación con el nivel estático del agua en el pozo, y el diámetro y longitud de la tubería, si se necesita para llevar el agua al punto más alto de la tierra.

Las bombas hechas por diferentes fabricantes pueden llenar las necesidades de cualquier equipo de bombeo, pero pueden también variar considerablemente en su precio y eficiencia. Las bombas bien diseñadas tienen una eficiencia de 70 a 80%, y deben escogerse bombas que tengan una eficiencia elevada si su precio es razonable. Esto puede determinarse calculando la reducción en el consumo de energía que se obtenga con el empleo de la bomba más eficiente.

Las bombas de turbina y centrífugas para pozo profundo funcionan a su más alta eficiencia cuando la altura de succión es mínima. Por lo tanto, hay que instalar los tazones de una bomba de turbina en tal forma que los impelentes queden sumergidos cuando la bomba está funcionando. La altura de succión disminuirá también si se dota la abertura de succión de la bomba con un colador y entrada de campana. Las válvulas de pie, que a veces se usan en las bombas centrífugas para impedir que el agua vuelva al pozo cuando se para la bomba, aumentan la altura de succión. Las válvulas de compuerta no aumentan la succión si son del mismo diámetro que el tubo de succión y se mantienen completamente abiertas, y las pérdidas que causan esas válvulas aumentan rápidamente si se abren a menos de la mitad.

Las válvulas de retención, que se instalan frecuentemente en los tubos de descarga de las bombas, pueden causar una resistencia considerable al flujo del agua en la tubería, especialmente a bajas velocidades. El diámetro de los tubos debe ser lo suficientemente grande, porque la fricción aumenta rápidamente a medida que disminuye su diámetro.

La energía requerida para hacer fun-

cionar una bomba depende de la descarga, de la carga total contra la que tiene que bombearse el agua y de la eficiencia, y se expresa por medio de la fórmula siguiente:

$$\text{caballos de fuerza} = \frac{\text{galones por minuto} \times \text{carga total}}{3{,}960 \times \text{eficiencia.}}$$

La carga total es la diferencia de altura entre el nivel de agua en el pozo cuando la bomba está funcionando y la tierra que va a regarse más la pérdida por fricción de la tubería, si es que se emplea. La eficiencia, en la forma que aquí se emplea, es el producto de la eficiencia de la bomba y de la eficiencia del mando (poleas o engranes).

La elección de la unidad motriz para hacer funcionar la bomba queda restringida ordinariamente a motores eléctricos o de combustión interna. Los motores de vapor se usan muy rara vez, debido a su alto costo de operación. Los molinos de viento no proporcionan la energía suficiente, excepto para plantas pequeñas, tales como las que se emplean para el riego de jardines.

Los motores eléctricos son confiables y económicos en su funcionamiento y proporcionan un servicio prolongado y exento de molestias, siendo prácticamente automáticos. Los motores eléctricos del tipo empleado en las plantas de bombeo funcionan con corriente alterna y a velocidad constante. La mayoría de ellos se fabrican para funcionar a 1,760 revoluciones por minuto; pero se hacen también motores para velocidades de 3,475, 1,160 y 870 revoluciones por minuto. Las bombas movidas con motores eléctricos generalmente se conectan directamente a ellos y están diseñadas para funcionar eficientemente a una de esas velocidades. Si la bomba tiene que funcionar a diferentes velocidades para llenar ciertos requisitos, hay que emplear un cabezal de polea o de engranes de las debidas proporciones para obtener la velocidad deseada.

Los motores eléctricos pueden diseñarse para funcionar en posición horizontal o vertical. Los motores verticales son especialmente eficaces para emplearse con bombas de turbina de pozo profundo, porque el motor puede conectarse directamente a la bomba, formando ésta y el motor una sola unidad compacta. Los motores eléctricos funcionarán satisfactoriamente con una sobrecarga continua hasta de 10%, y a sobrecargas mayores durante cortos periodos de tiempo. Las plantas de bombeo deben diseñarse en tal forma que los motores trabajen a plena carga, porque con ello se aumenta la eficiencia de la instalación y se disminuye la demanda de energía.

Los motores de combustión interna se emplean para mover las plantas de bombeo cuando se carece de electricidad o cuando ésta es muy costosa. Los tres tipos comunes de motores de combustión interna, son: el de gasolina, el "Diesel" y el de butano. Los motores de gasolina y butano funcionan bajo el mismo principio. Una chispa eléctrica enciende la mezcla de gas y aire. Utilizan combustibles volátiles, tales como gasolina o butano y, a veces, gas natural.

Los motores "Diesel" usan combustibles pesados, tales como petróleo crudo. La mezcla de combustible y aire se enciende por el calor generado por su compresión en el cilindro del motor. Estos motores dan buen servicio, pero necesitan más atención que los motores eléctricos.

Mediante ligeros cambios puede hacerse que los motores de gasolina funcionen con butano o gas natural. Funcionan a altas velocidades, y como la energía que producen, en términos de caballos de fuerza, es directamente proporcional a la velocidad, el peso del motor, en relación a los caballos de fuerza producidos, puede ser muy bajo. Por lo tanto, el costo por caballo de fuerza de los motores de gasolina es relativamente bajo.

Los motores "Diesel" tienen una compresión mucho mayor que los de gasolina y en consecuencia su construcción tiene que ser más resistente. No funcionan satisfactoriamente a altas velocidades, lo que hace que un motor "Diesel" sea generalmente más grande y más pesado que un motor de gasolina de energía equivalente. Es también considerablemente más caro, pero su alto costo inicial queda compensado con la mayor eficiencia del

motor "Diesel" y el bajo costo de su combustible. Los motores "Diesel" son más difíciles de arrancar que los de gasolina y necesitan una fuente auxiliar de energía, como un acumulador de gran tamaño, aire comprimido o un pequeño motor de gasolina para arrancarlos.

Cuando se usan motores de combustión interna como unidades motrices, se hace que muevan un eje horizontal, pudiendo conectarse directamente a las bombas centrífugas horizontales; pero se necesita un mando de polea o engranes para mover las bombas de turbina de pozo profundo que tienen un eje vertical. Hay disponibles para este propósito cabezales de polea y de engranes de alta eficiencia, y como la velocidad de los motores de combustión interna puede variar extensamente sin disminuir considerablemente su eficiencia, puede ajustarse su velocidad a fin de que la bomba funcione a su eficiencia máxima aunque cambien las condiciones para las que fue originalmente diseñada, y en ese aspecto son más flexibles que los motores eléctricos. Los motores de combustión interna se desgastan rápidamente cuando se sobrecargan más allá de los límites de su capacidad motriz.

LAS PLANTAS DE BOMBEO deben equiparse con líneas de tubería si el agua se va a entregar en un punto más alto que el sitio donde se localiza el pozo. Puede usarse tubería de acero, de concreto, de barro vitrificado o de materiales varios tales como transite o plástico.

La tubería de acero se usa para líneas de alta presión, y resiste los choques que se producen cuando se arranca la bomba o se cierra una válvula. La deflexión de la tubería de acero, debida al hundimiento de la tierra debajo de ella, no la romperá ni producirá fugas. La tubería de acero se fabrica en muchos tamaños y pesos adecuados para cualquier descarga o presión que pudiera requerir la planta de bombeo. Sin embargo, es costosa y se oxida rápidamente, a menos que sea galvanizada o esté cubierta con una capa duradera de pintura, ya sea alquitranada o esmaltada.

La tubería de concreto se usa extensamente para líneas de descarga de bombas, y es más adecuada para condiciones en que la presión es baja y el peligro de choque es ligero. Es relativamente económica y duradera, a menos que se coloque en tierras que contengan un alto porcentaje de sales. La tubería de concreto es quebradiza y se romperá si el suelo se hunde o si queda sujeta a levantamientos causados por la congelación. Los cambios de temperatura y el repentino humedecimiento de la tubería pueden romperla, por lo que esa tubería se coloca ordinariamente en primavera u otoño y se mantiene húmeda mientras se instala. Hay que instalar cerca de la bomba un tubo de flujo o cámara de aire para disminuir el peligro de los choques repentinos.

La tubería de barro vitrificado, conocida comúnmente como tubería de albañal, es sumamente resistente a la corrosión y no la afectan ni la humedad ni los cambios de temperatura; pero es quebradiza y debe protegerse contra los choques por medio de un tubo de flujo o cámara de aire si se emplea con una planta de bombeo. La tubería de albañal se fabrica en secciones cortas con uniones de espiga y campana, que se sellan ordinariamente con concreto, aunque se recomienda un sellador flexible si hay peligro de hundimientos o levantamientos. No debe usarse esta tubería si la presión excede de 10 pies de agua, a menos que se instale bajo la supervisión de un ingeniero competente.

A veces se usan tuberías especiales, tales como las de transite o plástico, para las líneas de descarga de las plantas de bombeo.

Antes de escoger una de estas tuberías especiales hay que investigar sus ventajas y desventajas.

La resistencia al flujo del agua en una tubería depende de la cantidad bombeada, la aspereza de la tubería y su diámetro. Se han preparado tablas que muestran los pies de presión necesarios para hacer fluir determinadas cantidades de agua a través de tuberías de acero, de concreto y de barro vitrificado de diferentes diámetros. Esta carga de fricción debe añadirse a la diferencia de altura entre el nivel de agua del pozo y el de la tierra donde se descarga el agua para

calcular los caballos de fuerza necesarios para el funcionamiento de una planta de bombeo. Si la tubería es larga, la carga de fricción puede constituir la mayor parte de la carga total que tiene que manejar la bomba. Por lo tanto, es muy importante el diseño cuidadoso de la tubería.

Como la carga de fricción para una descarga dada varía inversamente a la quinta potencia del diámetro de la tubería, ésta debe escogerse del tamaño adecuado. Además, el costo adicional de la tubería, a medida que aumenta el tamaño y disminuye la carga de fricción, tiene que compararse con el ahorro en los costos de bombeo. Debe consultarse a un ingeniero para cerciorarse de que se escoja el tamaño más económico.

El costo de bombeo incluye los cargos fijos (intereses, depreciación e impuestos) y los costos de operación (energía, reparaciones, lubricantes y atención).

Hay que hacer el pago de los cargos fijos independientemente de que la bomba funcione o no. Los costos de operación son directamente proporcionales a la cantidad total bombeada o a las horas de funcionamiento en cada estación. Si la bomba se hace funcionar solamente durante cortos periodos de tiempo, los cargos fijos constituirán la parte principal del costo, y como la cantidad total bombeada será pequeña, el costo por pie-acre de agua por pie de succión puede ser excesivo. Se obtendrá el costo unitario más bajo si la planta funciona por largos periodos de tiempo en cada estación. En esas plantas el costo de la energía constituye la partida principal de los gastos.

Una planta moderna que funciona 1,000 horas, o más, durante una estación, debe bombear agua a un costo total aproximado de 5 centavos el pie-acre por pie de succión. Si la planta es vieja y poco eficiente o si funciona sólo durante cortos periodos en cada estación, el costo total puede duplicarse.

Las plantas de bombeo para el riego con pozos son costosas y su precio puede variar en 5,000 y 10,000 dólares, y a veces mucho más si la succión es considerable y se necesita una gran capacidad. Un equipo de esa clase merece la mejor atención. El descuido de la planta puede causar fallas en momentos críticos, cuando el agua sea más necesaria para las cosechas. El agua que se aplica después del periodo crítico será ineficaz en gran parte y para obtener los rendimientos máximos de cosechas de gran valor el agua debe aplicarse cuando más se necesita.

Carl Rohwer *ha estado encargado de las investigaciones sobre riegos en la División de Riegos del Servicio de Investigaciones Agrícolas del Departamento de Agricultura desde 1914, y ha pasado la mayor parte de su carrera profesional en el Colegio Agrícola y Mecánico de Colorado.*

El bombeo del agua del suelo para evitar un consumo excesivo

Dean C. Muckel

La conservación del agua del suelo no significa el atesorarla o el dejar de usarla, sino el utilizarla en forma adecuada dentro de las limitaciones de los suministros conocidos, y de su reemplazo.

En muchas lugares de los Estados Unidos de Norteamérica ha habido excesos de consumo o escaseces de agua del suelo, aunque hay muchos sitios que la tienen en abundancia.

Los excesos de consumo que se han vuelto críticos se deben ordinariamente al empleo sin control del agua del suelo. El rápido crecimiento de las ciudades e industrias, y en el Oeste el enorme incremento del bombeo para riegos, explican la mayor parte de esos excesos de consumo. A menudo son localizados y se deben a un bombeo concentrado dentro de una área que puede o no puede cubrir una cuenca o depósito de agua del suelo.

Puede haber indicios de consumo excesivo en cierta parte de una cuenca de agua del suelo, mientras que hay un sobrante en otro sitio de la misma cuenca.

Ocurre un exceso de consumo cuando

las extracciones de toda una cuenca de agua del suelo exceden del rendimiento sin riesgo de esa agua.

Hay dos conceptos del rendimiento seguro del agua del suelo:

Primero, el concepto de cantidad, que se aplica primordialmente a los depósitos libres de agua del suelo en los que la meseta de agua representa la superficie superior del depósito. La elevación o la caída de la meseta de agua indican los cambios en el volumen del agua almacenada.

Segundo, el concepto de proporción, que se aplica principalmente a los depósitos artesianos de agua del suelo que existen cuando esa agua queda confinada bajo presiones tales que su desahogo en algún punto hace que el agua se eleve sobre la parte inferior de la capa que la detiene, aunque no necesariamente hasta arriba de la superficie del suelo. Como almacenan grandes cantidades de agua, se les llama depósitos, pero funcionan realmente como grandes conductos que transportan el agua. Los cambios en su almacenamiento son leves y la recuperación ocurre ordinariamente en áreas muy alejadas de las localidades donde ocurre la descarga. La elevación y caída de las aguas en los pozos que penetran hasta esos depósitos representa primordialmente cambios de presión y no cambios en el volumen almacenado. Por lo tanto, el rendimiento de los depósitos artesianos depende generalmente más bien de la proporción en que el agua se mueve a través del conducto o acuífero, que de la extensión de los cambios en el almacenamiento.

El concepto de proporción en depósitos libres de agua del suelo es secundario ordinariamente al concepto de cantidad, aunque las formaciones productoras de agua deben suministrarla a cualquiera o aproximadamente a cualquier proporción deseada de producción.

El rendimiento neto seguro de los depósitos de agua del suelo es igual al consumo neto anual durante un largo periodo de tiempo que no exceda de la recuperación anual, que no disminuya los niveles (o presiones) de agua en una serie de años secos hasta el grado de exceder de las succiones económicas de bombeo, o que exceda de una cantidad que causaría un deterioro en la calidad del agua del suelo.

La meseta de agua (o superficie de presión en caso de un depósito artesiano), en casi todos los depósitos, baja durante los periodos de sequía y sube cuando hay más lluvias, y esas variaciones alternadas hacia arriba y hacia abajo continúan durante periodos de varios años. El flujo hacia el exterior que se origina en el agua del suelo en cada cuenca, varía con la altura de la meseta de agua en el depósito. Un solo registro aislado y de poco tiempo de la distancia al nivel del agua (o superfiice de presión), no es mayor indicio de las condiciones normales o a largo plazo, que puede serlo el registro de precipitación de un solo año para indicar la precipitación promedia o normal en una área dada.

Siempre que el promedio de extracciones de bombeo durante un ciclo excede de la recuperación neta, o sea la diferencia entre los suministros de agua del suelo y el flujo de ella al exterior, el agua se toma de la cantidad almacenada, baja la meseta de agua y disminuye el flujo hacia el exterior, aumentando consiguientemente la recuperación neta. En los ciclos sucesivos, y si la extracción continúa en la misma proporción, la diferencia entre la recuperación neta y las extracciones, v, por tanto, la caída neta de la altura de la meseta de agua, serán menores. La relación entre la altura de la meseta de agua y el flujo hacia el exterior en algunos depósitos es tal que puede llegarse a un equilibrio entre los suministros netos y las extracciones actuales en un plazo razonable. En otros, la disminución progresiva de la altura debe continuar durante muchos ciclos, y en otros depósitos más, en donde el flujo hacia el exterior es relativamente pequeño, sólo puede obtenerse el equilibrio mediante la disminución de las extracciones.

El flujo hacia el exterior consiste de uno o todos los siguientes factores: Evaporación y consumo de las tierras que tienen altas mesetas de agua, corrientes superficiales que descargan fuera del área y flujos subterráneos.

Cuando se inicia el bombeo de los pozos, debe ir acompañado por una baja del nivel de agua (o presión, en el caso de acuíferos cerrados). Esa baja aumenta la oportunidad de recuperación de las corrientes que fluyen dentro del área, disminuye la superficie de filtración de las tierras y las pérdidas antieconómicas debidas al consumo y a la evaporación, y da oportunidad de que la lluvia penetre en el suelo de los valles, lo que no ocurre en condiciones normales debido a que los niveles del agua del suelo son demasiado altos. Aumenta también la oportunidad de que haya un flujo subterráneo a los depósitos, haciendo mayor el gradiente.

Las extracciones por medio del bombeo de los pozos, en esta etapa del desarrollo del agua del suelo, funcionan como medida de conservación al convertir las pérdidas antieconómicas en usos benéficos. El descenso de la meseta de agua crea también una capacidad adicional de almacenamiento y de transportación del agua que se origina en los periodos húmedos para utilizarse durante los periodos de sequía.

En ese aspecto, un depósito de agua del suelo es semejante a un depósito superficial. Un depósito que se conserva lleno o casi lleno en todo tiempo, no se utiliza ventajosamente. El descenso de las mesetas de agua durante períodos de sequía no debe ser necesariamente motivo de alarma, porque se está consumiendo el agua almacenada durante los periodos de humedad y se está creando una capacidad de almacenamiento para los períodos húmedos que siguen. Las mesetas de agua en descenso o estáticas crean un problema serio cuando ocurren durante los periodos húmedos y el depósito no se llena completamente para cubrir otro periodo de sequía, lo que indica un exceso de consumo de ese depósito.

Puede haber divergencia de opinión entre los operadores individuales de bombas sobre si hay o no hay exceso de consumo.

El usuario que bombea en una región donde la meseta de agua fluctúa grandemente o se encuentra demasiado profunda bajo la superficie, puede creer que cualquier extracción adicional que aumente, ya sea las fluctuaciones o la succión de bombeo, es un exceso de consumo.

Otro usuario, localizado cerca del punto de flujo hacia el exterior de un depósito de agua del suelo en donde tanto las fluctuaciones como la succión son ligeras, puede considerar que el descenso de la meseta de agua sólo produce una disminución del flujo hacia el exterior o de la cantidad de agua que se desperdiciaría de otro modo.

Una opinión extrema es la del usuario que está en condiciones de extraer económicamente el agua que quede en un depósito y que considera que no existe exceso de consumo mientras pueda bombear el agua que necesita, sin importarle quiénes tengan que ir a buscarla a otra parte o pasarse sin ella.

Todos los usuarios necesitan saber cómo y en dónde ocurre y se mueve el agua del suelo, a fin de que puedan desarrollar y utilizar esos suministros del mejor modo posible.

El agua subsuperficial ocurre en los intersticios, poros o aberturas de la roca que se encuentra entre la superficie del suelo y los límites más bajos de las formaciones porosas de rocas productoras de agua. Ese intervalo tiene dos zonas. La superior es la zona de ventilación y la inferior es una zona de saturación.

En una discusión relacionada con los pozos y su comportamiento, hay que ocuparse de la zona de saturación en donde los intersticios quedan completamente llenos de agua. Cuando la superficie superior de la zona de saturación, la meseta de agua, se encuentra a la presión atmosférica, es libre de subir y bajar de acuerdo con los cambios de volumen del agua almacenada. El agua que se halla en esas condiciones se llama agua del suelo libre o sin restricciones. Si la superficie superior de esa zona se encuentra bajo una presión hidrostática debido a que hay sobre ella una formación impermeable, se le llama agua del suelo restringida o agua artesiana. La altura de la meseta de agua se indica por el nivel del agua en un pozo que penetre hasta la zona de saturación. Cuando un pozo penetra hasta un volumen de agua del suelo confinada, sin embargo, esa agua subirá en el pozo hasta una altura que corres-

ponderá a la presión hidrostática que la restringe. La superficie imaginaria que coincide en todas partes con los puntos a que se elevaría esa agua restringida, se llama superficie piezométrica.

Las fluctuaciones en la altura de una meseta de agua indican cambios en el volumen de almacenamiento del agua libre del suelo. Las fluctuaciones en la altura de una superficie piezométrica indican esencialmente cambios de presión dentro del volumen del agua restringida del suelo.

La zona principal de saturación está cubierta en algunos sitios con materiales no saturados que contienen una formación impermeable sobre la cual puede ocurrir otra zona local de saturación. Al agua del suelo en esa zona se le llama "agua elevada" y su superficie superior constituye una meseta de agua elevada.

El movimiento y comportamiento del agua del suelo depende grandemente del tamaño, número, forma y distribución de los intersticios o vacíos en la formación rocosa de la tierra. La proporción de movimiento es directamente proporcional al gradiente hidráulico. Los materiales que tienen una distribución bastante uniforme de esos intersticios, incluyen la grava, tierra, deslizamientos glaciales no estratificados y otros depósitos semejantes sin consolidar, así como piedra arenisca, conglomerado y otras rocas consolidadas. Los que tienen una distribución irregular de intersticios incluyen el granito, gneis, la mayor parte de las calcáreas y basaltos y otras rocas macizas. Las características de producción de agua de los materiales que tienen intersticios uniformemente distribuidos pueden determinarse con bastante exactitud por medio de exámenes de laboratorio o de campo efectuados en muestras relativamente pequeñas de esos materiales; pero las características físicas de las rocas macizas varían tan grandemente aun en la misma formación, que puede hacer inciertas las predicciones relacionadas con su producción de agua.

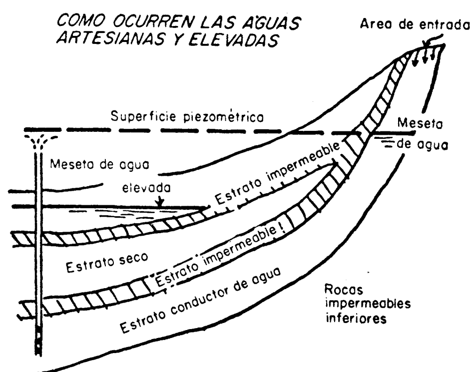
La porosidad es la proporción del volumen total de intersticios en una masa dada de cualquier material al volumen total de esa masa expresado como porcentaje. La porosidad de la masa de un material dado depende principalmente de la forma, disposición y grado de distribución de las partículas que lo constituyen; de la extensión de la cementación ocurrida; del grado de consolidación a que ha quedado sujeta, y de la cantidad de fracturas ocurridas.

El tamaño del grano en sí no tiene ningún efecto sobre la porosidad. El tamaño de los granos en la grava, arena, cieno y arcilla varía grandemente, sin que varíe por ello el promedio de porosidad de las mezclas bien surtidas de esos materiales.

La irregularidad en la forma de las partículas de un material granulado aumentará ordinariamente su porosidad sobre la de un material que tenga una distribución semejante de tamaños de partículas, pero que se componga de granos más redondeados y de forma regular.

El grado de variación de los granos o las variaciones en su tamaño tienen aún mayores efectos sobre la porosidad. En un material en el que los granos varíen de tamaño desde rocas grandes o cantos hasta arena y cieno, los intersticios entre las rocas más grandes se llenan con las partículas más pequeñas y el espacio entre ellas se llena con otras todavía más pequeñas. En la naturaleza los materiales granulados rara vez son de tamaño uniforme. Aun en las arenas que se consideran uniformes, las partículas mayores pueden ser considerablemente más grandes que las más pequeñas.

La porosidad determina la cantidad de agua que puede contener una roca o material cualquiera, pero no la cantidad que producirá. Una parte de esa agua se retiene por atracción molecular en los intersticios en forma de capas delgadas que rodean las partículas de roca más pequeñas y en los pequeños huecos dentro de las partículas granuladas y entre ellas, o en las diminutas uniones de sus fracturas. En los materiales con intersticios pequeños la mayor parte del agua puede retenerse por atracción molecular. Algunas arcillas tienen porosidades muy elevadas, pero no producirán agua o lo harán en muy poca cantidad. Los materiales con grandes intersticios pueden tener propiedades de producción de agua elevadas, aunque su porosidad sea muy leve. Los



sedimentos de grano grueso que tienen partículas de tamaño uniforme, producen cantidades relativamente grandes de agua.

Probablemente la grava limpia es el material absorbente más productor de agua en los Estados Unidos de Norteamérica desde el punto de vista del rendimiento, si se exceptúan las piedras calizas cavernosas y las lavas. En la grava limpia, en las rocas de lava fracturadas y no desgastadas o en la piedra caliza con grandes aberturas comunicadas, la proporción de agua extraída por gravedad puede acercarse a la porosidad total del material. La arena gruesa y bien distribuida producirá también una cantidad de agua equivalente a una gran proporción de su porosidad, pero las arenas finas producen mucho menos. Las arcillas que tienen partículas muy finas a veces no producen agua. A menudo se cree equivocadamente que el medio conductor de agua es adecuado para la perforación de pozos simplemente porque contiene muchos cantos del tamaño de una pelota de *baseball,* o más grandes.

Si no hubiera partículas finas esos cantos indicarían un material excelente para la extracción del agua. Generalmente, sin embargo, los espacios entre ellos están completamente llenos con arena de diversos tamaños, y, por lo tanto, los cantos obstruyen el flujo, ya que ocupan espacio y el agua no puede moverse a través de ellos.

El rendimiento específico de un material es la proporción del volumen de agua que escurrirá por gravedad (después de que el material se sature), al volumen total de ese material. La retención específica de un material es la proporción, expresada en porcentaje, del volumen de agua que retendrá contra la fuerza de gravedad después que ese material se ha saturado, al volumen total del mismo. El rendimiento específico más la retención específica son iguales a la porosidad. El rendimiento específico es útil para determinar, por medio de los cambios de nivel del agua, las cantidades de agua extraídas o necesarias para la recuperación de un depósito de agua del suelo. Por ejemplo, si uno de esos depósitos tiene una área superficial de 10 millas cuadradas y se ha determinado un promedio de rendimiento específico de 7.5%, cada elevación o descenso de un pie en el nivel de agua de toda el área representa 480 pies-acre de cambio de agua.

LA PERMEABILIDAD, que es probablemente la propiedad física más importante de un material conductor de agua, es la característica de los materiales porosos que les permite transmitir el agua a través de ellos. Un gran número de investigaciones de laboratorio y de estudios de campo sobre la permeabilidad ha producido numerosas fórmulas y procedimientos para determinar la permeabilidad de los materiales conductores de agua.

Uno de los primeros investigadores fue el sabio francés Darcy. En 1856 estableció la siguiente fórmula: "El flujo de agua a través de una columna de tierra es proporcional a la diferencia de presión en los extremos de la columna e inversamente proporcional a su longitud." Conocida como Ley de Darcy, se considera hasta la fecha como la ley básica que rige el flujo de agua del suelo.

Se expresa matemáticamente como:

$$V = \frac{kH}{L},$$

en donde V es la velocidad, H, la diferencia de carga entre dos puntos de la trayectoria de movimiento; L, la distancia a lo largo de esa trayectoria; H/L, el gradiente hidráulico, y k, un factor constante que depende en cada caso de las características del material a través del cual fluye el agua (particularmente el tamaño y arreglo de las partículas en los materiales granulados o el tamaño y ca-

racterísticas de la superficie de las uniones, fracturas o aberturas comunicadas), y que puede variar con cualquier cambio en esas características.

Cuando el agua se mueve a través de grandes masas de materiales en la zona de saturación, el factor H/L se convierte en el declive de la meseta de agua o superficie piezométrica (gradiente hidráulico). Frecuentemente es más deseable determinar la cantidad de flujo en vez de la velocidad, y la Ley de Darcy puede expresarse más conveniente como:

$$Q = PIA,$$

en donde Q es la cantidad de agua descargada durante una unidad de tiempo; P es el coeficiente de permeabilidad del material; I es el gradiente hidráulico, y A es el área seccional a través de la cual fluye el agua.

La proporción de movimiento del agua del suelo ordinariamente es muy lenta. En condiciones naturales rara vez se encuentran gradientes hidráulicos de más de 10 a 20 pies por milla. En las formaciones donde pueden desarrollarse pozos de buenos rendimientos, es común encontrar velocidades hasta de 5 pies diarios, y en el laboratorio se han observado velocidades de 30 a 60 pies diarios en grava bien distribuida con gradientes hidráulicos de 5 a 10 pies por milla. Las pruebas de campo para determinar el flujo subterráneo han encontrado velocidades tan altas como 400 pies diarios.

El coeficiente normal de permeabilidad de un material, según se emplea por la Inspección Geológica, se define como la proporción de flujo del agua en galones por día a 60° F. a través de una área seccional de un pie cuadrado bajo un gradiente hidráulico de 100%. Los valores del coeficiente normal de permeabilidad determinados en el laboratorio, varían de 0.0002 hasta aproximadamente 90,000, pero en los materiales comunes conductores de agua en donde se desarrollan los pozos, varían ordinariamente entre 10 y 5,000.

C. F. Tolman, en su libro *Agua del Suelo,* da los siguientes promedios de velocidades de materiales granulados en pies diarios:

Tipo material	*Tamaño de los granos en mili metros*	*Promedio de velocidad, gradiente de 1%.*
Cieno, arena y marga	0.005 a 0.25	0.065
Piedra arenisca y arena mediana	0.25 a 0.5	1.16
Arena gruesa y grava arenosa	0.50 a 2.0	6.33
Grava	2.0 a 10.00	30.00

La descarga de un pozo se relaciona directamente con la permeabilidad del material a donde penetra el mismo. Cuando penetra en una capa de material conductor de agua y ésta se bombea, el agua en la tubería del pozo baja primeramente y el agua del material saturado que rodea la tubería del pozo fluye dentro de éste. Si se continúa el bombeo, continuará bajando el agua del pozo y el agua que fluye del material saturado aumentará hasta igualar a la descarga. El agua que se mueve hacia el pozo tiene que pasar a través de los poros del material, y mientras más se acerca al pozo tiene que moverse más rápidamente, debido a que el área que tiene que atravesar decrece continuamente.

Como la velocidad del agua que fluye a través de un medio conductor es directamente proporcional al declive de la superficie de agua, ese declive aumenta a medida que el agua se acerca al pozo, y el cambio de declive es directamente proporcional al cambio de velocidad. La superficie de agua que se forma como resultado del declive hacia abajo que aumenta continuamente hacia el pozo, es una depresión en forma de campana invertida que se conoce como cono de depresión. La base de ese cono se extiende teóricamente hacia afuera del pozo hasta los límites del acuífero.

Se ha encontrado un descenso apreciable de la meseta de agua a distancias de 8 a 10 millas en donde se lleva a cabo un bombeo considerable. En proporciones usuales de bombeo, el descenso es relativamente pequeño a distancias que exceden de 1,000 pies, y se llama área de influencia a aquella debajo de la cual ocurre un descenso del nivel de agua. La distancia

a que baja el nivel de agua debido al bombeo es el abatimiento, es decir, la distancia entre el nivel de agua del pozo al estarse bombeando y el nivel estático del agua o meseta de agua.

Un término empleado comúnmente para evaluar un pozo en relación con el abatimiento, es la capacidad específica, y denota ordinariamente la descarga en galones por minuto por pie de abatimiento. En algunas localidades se emplea el término de capacidad específica de la formación, que se expresa como descarga en galones por minuto por pie de abatimiento, por pie cuadrado de área perforada en el colador o tubería del pozo.

Se han desarrollado fórmulas matemáticas para mostrar la relación entre la descarga de un pozo, la forma y extensión del cono de depresión y las características del material en el que se perfora el pozo. La mayoría de esas fórmulas se basan en el concepto de que el material en que se perfora el pozo es de carácter homogéneo, que el pozo penetra completamente dentro del acuífero o material productor de agua y que recibe agua en toda su longitud de penetración, condiciones que rara vez se encuentran en la naturaleza. Las fórmulas, sin embargo, demuestran ciertas relaciones fundamentales que son de gran valor para el estudio de los pozos.

En los pozos en donde la tubería de forro penetra a toda la profundidad del estrato conductor de agua, la capacidad del pozo es directamente proporcional al espesor del estrato si el abatimiento y otras condiciones permanecen iguales. Igualmente, mientras más profundamente penetra un pozo en un estrato conductor de agua, mayor será la descarga para un abatimiento dado.

Cuando los pozos penetran profundamente en cualquier clase de formaciones conductoras de agua de espesor considerable, su capacidad es directamente proporcional al abatimiento mientras este último sea leve en comparación con la profundidad del agua del pozo. Si el abatimiento es considerable, la descarga del pozo no aumenta tan rápidamente como el abatimiento.

Si la profundidad del agua del pozo es poca, el rendimiento por pie de abatimiento disminuirá a medida que aumenta el abatimiento, porque a medida que éste aumenta se acorta la profundidad del material a través del cual el agua penetra al pozo. En los pozos artesianos, el rendimiento es directamente proporcional al abatimiento mientras éste sea menor que la presión artesiana.

Las fórmulas indican también que la descarga de los pozos aumenta a medida que es mayor su diámetro, pero no en proporción directa. Teóricamente la descarga de un pozo de 2 pies, asumiendo que el radio de influencia sea de 1,000 pies y el abatimiento sea constante, es sólo un 10% mayor que la de un pozo de un pie, y la descarga de un pozo de 4 pies es sólo 21% mayor que la de un pozo de un pie.

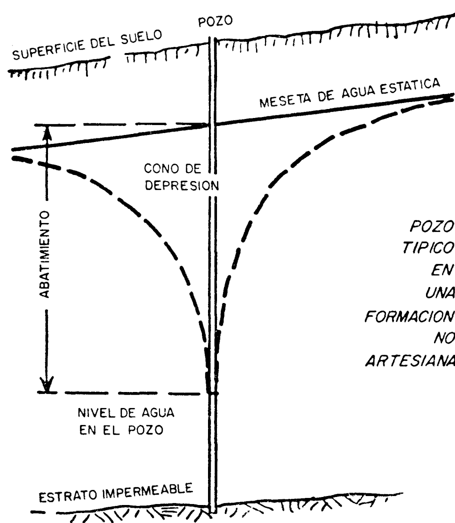
Ordinariamente, cuando la profundidad de las formaciones productoras de agua es suficiente, no se hace intento alguno para aumentar la descarga de un pozo haciendo mayor su diámetro, y en vez de ello el pozo se perfora a mayor profundidad, y se determina su tamaño por los requerimientos necesarios para admitir el tamaño de bomba que va a instalarse.

En las formaciones superficiales productoras de agua en donde el ahondamiento del pozo no haría que penetrara en formaciones adicionales de las que pudiera extraerse agua, es recomendable el aumento de diámetro. A menudo, cuando existen mesetas de agua poco profundas y la formación productora de agua es relativamente de poco espesor, se emplean pozos perforados con un diámetro hasta de 10 pies, o más. Ordinariamente no se obtienen grandes descargas, pero a menudo son suficientes para regar varios acres de tierra. En esas condiciones se emplean también series de pozos conectados a una bomba común.

Cuando los pozos quedan demasiado cerca unos de otros y sus conos de depresión se entrelazan, se crea una interferencia entre los mismos y disminuyen las descargas de todos ellos. La cantidad de disminución depende del diámetro, profundidad, espaciamiento y número de pozos, y del abatimiento y naturaleza del material conductor de agua. Si es posible, debe evitarse esta interferencia.

En la práctica, si un pozo está funcionando y se planean otros, es aconsejable hacer perforaciones de prueba o de observación, que queden radiando hacia afuera del pozo ya existente. Las mediciones de profundidad hasta la meseta de agua tomadas antes y durante el bombeo del pozo ya existente, ayudarán a determinar el área de influencia. (Se hallará información sobre la construcción de pozos en la Circular núm. 546 del Departamento de Agricultura, titulada *La Perforación y Desarrollo de Pozos para Riego,* por Carl Rohwer.)

¿QUÉ PUEDE HACERSE para evitar los excesos de consumo? No es muy fácil contestar esta pregunta.



Básicamente, si se toma en consideración todo el depósito de agua del suelo, las extracciones por medio de bombeos no deben exceder del rendimiento neto que se considere sin riesgo. La determinación de ese rendimiento seguro requiere un estudio concienzudo y, por lo tanto, ordinariamente no se lleva a cabo sino hasta que hay un exceso de consumo. El bombeo dentro del área de la mayoría de los depósitos de agua del suelo se afectúa para suministrar agua a una variedad de usuarios, industrias, municipales, y especialmente en el Oeste, para riegos, y todos ellos compiten en su uso.

La concentración de pozos ha causado profundos huecos en la meseta de agua, y en algunos sitios ha llegado hasta a invertir la dirección normal del flujo subterráneo. Esos profundos huecos de la meseta de agua son realmente grandes conos de depresión. Se ha extraído tanta agua que ha dado por resultado el descenso de la meseta de agua en una extensión de muchas millas, y la proporción anual de reposición no puede igualar a las extracciones. Esas condiciones requieren medidas en toda la extensión de los depósitos a fin de obtener suministros suplementarios de otras partes, y esas medidas consisten en la limitación del bombeo o en una nueva disposición del espaciamiento de los pozos dentro del área del depósito.

La ecuación hidrológica básica de un depósito de agua del suelo es la siguiente: La recuperación debe ser igual a la descarga.

Cuando se efectúan bombeos, el consumo se hace a largo plazo a expensas de la descarga natural, y entonces la ecuación puede establecerse en esta forma: La recuperación es igual a la descarga natural más la descarga artificial.

Cuando durante un largo periodo de tiempo tanto la descarga natural como la artificial exceden de la recuperación, el exceso se obtiene de los depósitos acumulados, existiendo entonces un exceso de consumo.

Es obvio que la única solución consiste en aumentar el lado de recuperación de la ecuación o en disminuir el lado de descarga de la misma, a fin de obtener el equilibrio.

Las fuentes de recuperación (o de suministro) son las siguientes: Flujo superficial hacia el interior, flujo subsuperficial hacia el interior, precipitación en el área, aguas importadas y aguas de albañal.

Los conceptos de descarga, o utilización, son los siguientes: flujo superficial al exterior, flujo subsuperficial al exterior, utilización para el consumo del área, aguas exportadas y aguas de albañal.

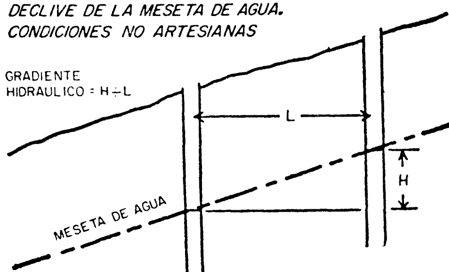
Puede aumentarse la recuperación mediante la importación de aguas dentro del área, ya sea para consumo directo para ayudar al consumo de bombeo, o

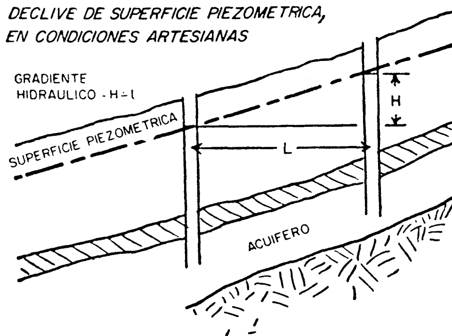
para recuperación artificial del depósito de agua del suelo por medio de esparcimientos de agua o de inyecciones en los pozos.

Puede obtenerse una disminución en el lado de descarga de la ecuación eliminando una porción del consumo, así como las pérdidas por evaporación causadas por plantas antieconómicas y por los pantanos o zonas baldías.

Las áreas con agua del suelo muy elevada, como las que pueden encontrarse en la salida de algunos depósitos de agua del suelo, tienden a desperdiciar el agua, y puede evitarse ese desperdicio mediante la remoción de la vegetación o haciendo que baje el nivel del agua por medio de desagües.

Si se usan los desagües para este fin, la descarga de ellos debe aprovecharse para fines beneficiosos. Todas las prácticas de conservación de agua dentro del área





servirán también para disminuir la descarga natural.

El evitar el desbordamiento induciendo, por lo tanto, la filtración profunda de la precipitación, ayuda a obtener el equilibrio entre la recuperación y la descarga. Además, el uso adecuado del agua en los riegos disminuye las pérdidas por evaporación y transpiración.

En las áreas artesianas el agua puede conservarse sellando los pozos y eliminando el goteo en aquellos en que han ocurrido fallas en las tuberías de forro. Se sabe que el escurrimiento de los pozos causa pérdidas considerables de agua del suelo, a grado tal que muchos Estados han promulgado leyes que prohiben que un pozo artesiano fluya inútilmente o que se siga utilizando un pozo que gotea.

Hay actualmente una tendencia generalizada hacia la utilización planeada de los depósitos de agua del suelo. Esto requerirá investigaciones competentes y la planeación del desarrollo del agua del suelo del suministro común de aguas superficiales y aguas del suelo interconectadas, y para ello se necesita una legislación adecuada. Cuando se hace funcionar un depósito con un programa bien planeado, se obtendrá la utilización completa del agua, no debiendo ocurrir excesos de consumo permanente.

Esta parece ser la única forma de impedir los resultados de la explotación al azar del agua del suelo que se ha llevado a cabo en muchas áreas. Naturalmente, cualquier programa que se proponga para el desarrollo de los depósitos de agua del suelo debe ser económicamente factible.

Dean C. Muckel *es ingeniero de riegos y supervisor de proyectos de las investigaciones sobre recuperación de agua del suelo de la Rama de Investigaciones Sobre Conservación de Tierras y Aguas del Departamento de Agricultura, con residencia en Berkeley, California, y se unió al Departamento poco tiempo después de graduarse en la Universidad de Colorado en 1930.*

La reposición del agua del suelo mediante la dispersión

Dean C. Muckel y Leonard Schiff

¿CÓMO PODEMOS AUMENTAR nuestros depósitos cuando hemos sobregirado nuestra cuenta de agua del suelo?

El método natural consiste en la filtración de las corrientes, la penetración profunda de las lluvias y de la fusión de las nieves dentro del suelo y la filtración de agua de las colinas y montañas.

Sin embargo, todo ello no es suficiente para reponer el agua del suelo y de los sitios de donde se bombean grandes cantidades de ella, o en aquellos otros en donde los depósitos superficiales disminuyen la cantidad de agua que se filtra dentro del suelo desde los canales de las corrientes naturales, donde se pavimentan los canales en las ciudades, y las alcantarillas pluviales, los edificios y los pavimentos impiden que el agua penetre en el suelo. Cuando esto ocurre, la cantidad que se saca de los depósitos subterráneos excede de la que entra a ellos, ocurriendo entonces, o habiendo el peligro de que ocurra, un exceso de consumo. Las mesetas de agua descienden y los costos de bombeo aumentan.

Una forma de crear nuevos depósitos consiste en la construcción de sistemas de dispersión de agua que esparcen las aguas almacenadas en ellos en épocas de desbordamiento excesivo sobre una área mucho mayor, y aumentan, por lo tanto, la cantidad de agua que penetra al suelo. (El término "dispersión de agua" se asocia comúnmente con todos los métodos de reposición de agua del suelo.)

El diseño y funcionamiento de un sistema de dispersión de agua se asemejan a los de un sistema de riego, con la sola diferencia de que con ellos se ayuda a que el agua se filtre rápidamente hasta la cuenca del subsuelo en lugar de conservarse dentro de la zona de raíces de las cosechas de riego.

Es necesaria la recuperación artificial por medio de la dispersión en donde quiera que se planee la utilización de los depósitos de agua del suelo, es decir, de los depósitos subterráneos. Muchos depósitos de agua del suelo pueden contener mayores cantidades de agua que los más grandes depósitos superficiales, y, sin embargo, se utilizan muy pocos de ellos para almacenar las aguas de las inundaciones. Puede obtenerse un almacenamiento en los depósitos de agua del suelo con muy poca pérdida de agua por evaporación. En el Oeste hay muy pocos sitios económicos para depósitos superficiales que no se hayan desarrollado ya, y la utilización del almacenamiento subterráneo constituye un desarrollo planeado y, por tanto, es de gran importancia.

Para utilizar en forma completa el almacenaje subterráneo, puede ser necesario abatir los niveles de agua mediante el funcionamiento de pozos a una distancia apropiada durante los periodos de sequía, a fin de crear una capacidad de almacenamiento que puede utilizarse más tarde durante los periodos de excesos de agua. Los depósitos de agua del suelo, al igual que los superficiales, no se usan con ventaja si se conservan siempre llenos o casi llenos, debiendo vaciarse durante los periodos de sequía a fin de suministrar una capacidad de almacenamiento durante los periodos húmedos.

LAS FUENTES DE RECUPERACIÓN del agua son los ríos y canales que transportan agua producida directamente por la precipitación y la fusión de las nieves, o que se libera de los almacenamientos superficiales.

La dispersión se hace ordinariamente durante las estaciones de escasas necesidades de riego, y, por lo tanto, pueden emplearse las facilidades de almacenamiento y distribución para ayudar a esparcir el agua sin estorbar los riegos. Las aguas de albañal y las emanaciones industriales pueden también proporcionar fuentes adicionales de agua. En áreas de escasez de agua en las que se descargan en el océano grandes cantidades de aguas de albañal, puede remediarse el exceso de consumo de agua mediante la dispersión de las aguas de albañal debidamente reacondicionadas. Sin embargo, debe evitarse la contaminación de los suministros de agua del suelo con esas emanaciones.

HAY VARIOS MÉTODOS de dispersión, el

de cuenca, el de surco, el de inundación y el empleo de excavaciones, tiros y pozos. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas y se emplean extensamente, a excepción del último. A menudo se combinan varios métodos y a veces se emplean los cuatro a la vez.

Los factores que hay que tener en cuenta para la elección del método, son: la topografía, declive general de la tierra, superficie disponible, condición del agua (clara o lodosa) y características del flujo de la corriente.

El método de cuenca consiste en almacenar el agua en una serie de pequeñas cuencas formadas por medio de diques o bordos. Las cuencas se disponen en tal forma que toda el área quede sumergida durante las operaciones de dispersión. A menudo los diques siguen las líneas de contorno de la superficie del suelo y tienen dispositivos de desbordamiento, a fin de que el exceso de agua de una cuenca desagüe en la siguiente cuenca más baja. El desbordamiento puede fluir sobre los diques o pasar a través de ellos por medio de tubos. Ambos métodos son buenos y la elección entre ellos depende de los materiales disponibles para la construcción de los diques.

El desbordamiento sobre los diques requiere que éstos se construyan con materiales resistentes a la erosión. La represa de salchichón, que se usa extensamente en el sur de California, consiste de muros de rocas de varios tamaños sujetas unas a otras con alambre grueso de púas para formar un colchón de roca. Esos muros rara vez tienen una altura mayor de 8 pies y no se consideran económicos a menos que la roca se encuentre a proximidad del sitio. Los muros deben estar protegidos en su parte superior, a fin de evitar la erosión causada por la fuerza del desbordamiento.

La altura del desbordamiento sobre la superficie del suelo se ajusta de manera que cuando se llene la cuenca y escape el agua, ésta llegue hasta el extremo del dique que forma el límite inferior de la cuenca que le sigue en altura, y en esa forma se logra que toda la superficie del suelo entre los diques quede sumergida.

Se emplea el método de cuenca en sitios en donde la superficie del suelo es irregular y tiene pequeñas hondonadas y bordos. Las cuencas impiden que el agua se almacene en las hondonadas y que se escape antes de que tenga oportunidad de filtrarse dentro del subsuelo. No se recomienda la dispersión por medio de cuencas si el agua lleva mucho sedimento o materias extrañas que puedan sellar la superficie del área de dispersión y destruir al final la utilidad de las cuencas. Una ventaja de este método es que humedece una área neta mayor que cualquier otro.

El método de surco o zanja consiste en enviar el agua por medio de una serie de surcos o zanjas semejantes a las de un sistema de riego. Las zanjas son poco profundas, con fondos planos y espaciadas a corta distancia una de otra, a fin de exponer a la infiltración una área máxima. Los declives de las zanjas se proyectan ordinariamente en tal forma que la velocidad de la corriente arrastre en suspensión, o como carga rotatoria de fondo, el sedimento y materiales finos que son perjudiciales para la infiltración.

El sistema de zanjas se lleva a cabo ordinariamente de acuerdo con cualquiera de los tres planes generales siguientes:

1º Zanjas laterales paralelas de dispersión que se extienden en ángulo recto del canal principal de desviación. Los tubos o cortes abiertos hechos a través de los bordos del canal principal de desviación proporcionan salida a las laterales. En cada salida se instalan compuertas para controlar la cantidad de agua que entre a cada surco. Las laterales tienen generalmente de 3 a 12 pies de ancho y su profundidad es suficiente para proporcionar un declive uniforme a través de los bordos y depresiones, produciendo así una velocidad bastante uniforme.

Para cada serie de laterales en el sistema se suministra generalmente una zanja de recepción, que se encuentra en la parte inferior y que recoge el exceso de agua de las laterales de dispersión. Esa agua puede volverse a distribuir entonces en una nueva serie de laterales o puede desviarse nuevamente a la corriente del canal principal si se ha llegado a los límites del área de dispersión. Si hay suficiente agua disponible, se recomienda este sistema para las corrientes que lleven una

cantidad considerable de sedimentos, habiendo la teoría de que el sedimento se transportará a través de todo el sistema de dispersión y volverá de nuevo al canal principal, de donde las inundaciones periódicas lo llevarán al mar.

2º En vez de desviar el canal principal a una serie de laterales pequeñas, el mismo canal principal puede dividirse en dos zanjas separadas, que a su vez pueden subdividirse en otras cuatro más pequeñas. Se continúan las divisiones hasta que el flujo de las zanjas disminuya y finalmente desaparezca. En cada punto de división habrá compuertas para controlar el agua que entra a cada serie de zanjas.

3º Mediante el sistema de zanjas de contorno el agua se esparce a través de una sola zanja que sigue el contorno de la superficie del suelo. Cuando la zanja llega al límite del área de dispersión, se hace que vuelva hacia atrás, y en esa forma la zanja va de un lado a otro a través de la superficie de la tierra, aproximándose gradualmente a la parte inferior del área de dispersión.

El método de inundación consiste en esparcir el agua lentamente sobre la superficie de la tierra en una capa delgada. Se han obtenido buenos resultados con este método, que se adapta a áreas con declives suaves y cuya topografía no se interrumpe con grandes zanjas o bordos. Sin embargo, existen pocas de esas áreas y a menudo se necesitan ciertas estructuras para evitar que el agua se acumule en pequeños arroyos y corra sin dispersarse sobre la superficie requerida de la tierra. Pueden construirse pequeñas zanjas o bordos para desviar el agua de las hondonadas superficiales a los sitios más altos, de donde puede esparcirse en todas direcciones, humedeciendo los declives de los bordos a medida que corre nuevamente hacia los niveles más bajos. Mediante el empleo adecuado de esas zanjas o bordos de desviación, puede humedecerse toda el área o parte de ella.

El agua puede llegar al sitio más alto del área de dispersión por medio de un canal principal, soltándose luego para que siga las zanjas y bordos de desviación. Ordinariamente, sin embargo, se necesita una zanja principal, o tal vez varias, que vayan de un lado a otro sobre los bordos más altos o que rodeen los límites superiores. El agua puede desviarse a intervalos desde esas zanjas. Este método da mejor control del agua, y si falla un bordo o zanja de desviación, sólo hay que interrumpir una parte de las operaciones de dispersión para hacer las reparaciones necesarias.

La mayor proporción de movimiento de agua en la tierra ocurre en sitios en que la vegetación nativa y la cobertura de la tierra han sufrido menos disturbios. En un sistema de inundación debidamente diseñado hay que hacer muy pocos cambios en el área de dispersión.

Si la superficie del suelo es demasiado irregular para emplear el método de inundaciones, se pueden emplear cuencas o surcos para confinar el agua dentro de una área dada. El costo de preparación de la tierra para el esparcimiento por inundación es mucho menor que para cualquiera de los otros métodos y es mayor la proporción de movimiento de agua dentro de la tierra.

Con el método de inundación, el agua se confina con menos facilidad que en los otros. A menudo son necesarias estructuras adecuadas, tales como bordos o zanjas en los límites del área de dispersión, para evitar daños a las tierras vecinas por las corrientes de agua sin control que puedan escapar. En este sistema, como en otros, el agua debe quedar bajo un control absoluto en todos los puntos de desviación, así como en la entrada al área de dispersión.

Es difícil diseñar un sistema completo de inundación antes de aplicar el agua. Deben instalarse primeramente las zanjas principales, las obras de desviación y las estructuras de control, y después de aplicar el agua, pueden localizarse y construirse en la forma más adecuada los bordos y zanjas de desviación más pequeños Es conveniente que haya, por lo menos, un hombre en el área durante las operaciones de dispersión, a fin de que patrulle y vigile las zanjas y bordos. A menudo los ajustes tan sencillos como la colocación de unas cuantas paletadas de tierra en el lugar apropiado, desviarán una cantidad de agua suficiente para humedecer varios acres adicionales. En esa forma,

un sistema de esparcimiento bien diseñado puede ser sumamente eficiente con un costo bajo de operación.

Se clasifica también como inundación la dispersión de agua en los canales de los arroyos. Si el arroyo tiene un lecho ancho debido a variaciones del canal, puede construirse un bordo o represa de poca altura a lo largo del lecho. El agua, al pasar sobre la represa, se esparce en una capa delgada sobre todo el lecho del arroyo y, por lo tanto, aumenta el área humedecida. Deben tomarse las precauciones necesarias para evitar la creación de riesgos en tiempo de inundaciones al detener las aguas o desviarlas fuera de sus lechos normales. Los costos de operación son muy bajos en este tipo de dispersión, con excepción de las inspecciones periódicas del bordo o represa.

El agua que se desvía dentro de las excavaciones, tiros o pozos, no cae estrictamente dentro de la definición de dispersión de agua; pero tiene el mismo fin y, por lo tanto, se considera también como método de dispersión. No se usa extensamente debido a su mayor costo y a otras limitaciones. Se emplean generalmente las excavaciones de grava abandonadas, los pozos viejos u otras cavidades ya existentes.

Rara vez se hacen tiros o excavaciones exclusivamente con este objeto. A veces los pozos que se bombean normalmente durante la estación de crecimiento se emplean para reemplazar el agua durante otras estaciones. Generalmente se obtienen altas proporciones de flujo en los pozos; pero sólo una parte relativamente pequeña del agua se absorbe en esta forma, debido a lo limitado del área. El agua empleada en las excavaciones o pozos debe estar libre de sedimentos para evitar que se sellen los fondos y lados, ya que el desazolve de las excavaciones y pozos es a veces extraordinariamente costoso.

Ordinariamente el empleo de pozos o tiros queda restringido a condiciones especiales. Pueden usarse cuando ocurren mantos o capas impermeables entre la superficie y la meseta de agua, situación que hace impracticable la reposición del agua por dispersión superficial. Pueden también ser convenientes cuando los valores de la tierra son muy altos para destinar áreas suficientemente grandes para la dispersión superficial.

Se han obtenido con este método tanto éxitos como fracasos. Generalmente se han obtenido los mejores resultados empleando agua clorinada libre de sedimentos y manteniendo la tubería de forro del pozo constantemente llena, a fin de evitar la fluctuación y turbulencia indebidas en el agua inyectada. La clorinación es necesaria en algunos sitios para evitar la reproducción de microorganismos que obstruyen la tierra. Naturalmente, este método tiene la ventaja de la carga o presión de agua. En sitios en donde el agua se ha inyectado bajo presión en los pozos, se han necesitado construcciones especiales para evitar el movimiento ascensional del agua hacia el exterior de la tubería de forro. Para los pozos de reposición en tierras de aluvión, el tipo de cubierta de grava parece ser mejor.

La selección de los sitios de dispersión debe hacerse con conocimiento de la estructura geológica de las cuencas de agua del suelo, a fin de obtener la utilización más eficiente de la capacidad de almacenamiento y transmisión de agua de los acuíferos. Esto es necesario para asegurarse de que el agua dispersada y que penetra al interior, llegue a la zona que se trata de llenar. Esa selección debe hacerse también con relación a la contextura superficial y a la estructura subsuperficial del suelo, a fin de obtener las más rápidas proporciones de movimiento de agua dentro del suelo y a través de él. Cuando se llenan estos dos requisitos puede hacerse una elección más precisa del área basándose en los valores de la tierra, facilidad de suministro de agua, topografía y otros factores.

En los primeros días de la reposición artificial de agua se localizaban los sistemas de dispersión de agua en los conos de desechos permeables que ocurren en las bocas de los cañones, porque las condiciones eran ideales para el esparcimiento. El agua estaba cerca y era muy sencillo construir las desviaciones temporales necesarias. Los conos de desecho se encontraban a mayor altura que los suelos de los valles, y toda el agua que penetrara al interior llegaría eventualmente a la

capa principal de agua del suelo en donde era mayor el bombeo de los pozos. Los conos de desecho se consideraban generalmente como tierras desperdiciadas, y, por lo tanto, el tamaño o valor del área destinada a la dispersión no presentaba ninguna dificultad. El problema consistía simplemente en la desviación y protección contra los flujos de inundación que periódicamente salían de los cañones.

Un aumento general en el desarrollo del agua del suelo para riegos ha creado la necesidad de la reposición artificial en áreas que no están especialmente adaptadas para la dispersión. A menudo la localización de los pozos ya establecidos confina el área de dispersión a tierras de baja permeabilidad. El agua penetra a las tierras agrícolas y se mueve a través de ellas mucho más lentamente que a través de los conos de desecho. El alto valor de las tierras agrícolas hace que sea deseable limitar el tamaño de las áreas de dispersión, y como resultado de todo ello se iniciaron experimentos e investigaciones para el diseño y funcionamiento de sistemas que fueran eficaces bajo condiciones desfavorables.

LAS TIERRAS DE BAJA permeabilidad ordinariamente son de contextura media o fina y varían de margas arenosas a margas arcillosas. La proporción de infiltración, o sea la proporción en que el agua que corre o queda almacenada a poca profundidad puede penetrar a la tierra, puede ser o no ser satisfactoria. Sin embargo, aun una proporción satisfactoria de infiltración puede ser de corta duración, debido a la capacidad de obstrucción de las secreciones biológicas, especialmente durante las inmersiones prolongadas. Muchas tierras son difíciles, porque existen en su perfil a poca profundidad capas duras o estratificadas u otras casi impermeables.

Frecuentemente la proporción de filtración a través de las capas duras de tierra, o sea la proporción del movimiento hacia abajo a través de una cierta profundidad de tierra, es menor que la proporción de infiltración. Las capas duras o las de arcilla bajo los pequeños estanques de esparcimiento, tienen poco afecto sobre la proporción de infiltración porque el agua puede fluir fácilmente en sentido lateral sobre ellas. Sin embargo, en una gran área de esparcimiento, el agua se limita en gran parte a un flujo vertical hacia abajo, excepto cerca de los linderos. La proporción del flujo de agua así confinada se limita a la proporción de filtración de las capas menos permeables bajo la superficie, y, por lo tanto, su efecto en la disminución de la proporción de infiltración aumenta a medida que aumenta el tamaño del área; pero mientras mayor sea la profundidad hasta las capas menos permeables, ya sea que el estanque sea grande o pequeño, mayor será la oportunidad para el flujo lateral.

SE HAN ESTUDIADO en pequeños estanques de prueba (14.7 pies cuadrados), cerca de Bakersfield, California, desde 1936, los tratamientos del agua y de la tierra y las operaciones o procedimientos de manejo para aumentar la proporción de infiltración. El Departamento de Agricultura terminó un laboratorio en Bakersfield, en 1949, para estudiar la hidráulica, física de tierras y microbiología de tierras relacionadas con la dispersión de aguas. El trabajo de laboratorio se relaciona con la actual dispersión de agua en los estanques experimentales y en grandes áreas. En estos estudios están cooperando la Empresa de Tierras del Condado de Kern, el Distrito de Almacenamiento de Aguas de North Kern, la División Estatal de Recursos Hidráulicos de California, la Estación Agrícola Experimental de California y el Departamento de Agricultura.

Los tratamientos para aumentar las proporciones de filtración e infiltración están destinados a agrandar los poros de la tierra, mejorar su incorporación, estabilizar los materiales incorporados y establecer una continuidad de poros a través de la tierra superficial, de capas más bajas y menos permeables, o de ambas. Esos tratamientos comprenden la dispersión, desleimiento, e hinchazón de las partículas de tierra; la lixiviación y depósito de materiales, las actividades biológicas y químicas y la consolidación que tiende a obstruir los espacios de los poros.

El promedio de infiltración normal pa-

ra las margas arenosas de Hesteria y Exeter, sin ningún tratamiento durante una inundación prolongada, es, aproximadamente, de 0.9 de pie diario en un pequeño estanque de prueba, y de 0.5 de pie diario en grandes áreas de esparcimiento. Las proporciones de infiltración son más bajas en áreas grandes que en los pequeños estanques de prueba manejados a mano, debido a la menor proporción de flujo lateral, así como a la remoción de la tierra superficial, destrucción de la estructura de la tierra y consolidación debida a la nivelación y manipulación de la tierra con equipo pesado.

Las proporciones normales de infiltración de 0.5 de pie diario en las grandes áreas de dispersión para periodos de dispersión que pueden durar hasta 9 meses, se consideraría satisfactoria, pero son de desearse proporciones mayores.

Se ha explicado en la siguiente forma la curva de infiltración en forma de S que se obtiene generalmente: El primer descenso se debe a la hinchazón y dispersión; el siguiente aumento acompaña la remoción del aire atrapado, y el descenso final se debe a los gases, líquidos y sólidos secretados por los microorganismos de la tierra. Se recuperan las proporciones iniciales de infiltración y la curva de infiltración se repite después que la tierra se ha secado hasta el punto permanente de marchitamiento. Las proporciones de infiltración para las margas arenosas de Hesperia (bajo las cuales hay capas delgadas, interrumpidas y estratificadas) son ligeramente mayores que para las margas arenosas de Exeter (bajo las cuales hay capas duras, delgadas e interrumpidas).

Los tratamientos vegetativos han producido aumentos notables en las proporciones de infiltración en las margas arenosas de Hesperia y Exeter. Los depósitos de desechos descompuestos de las desmotadoras de algodón incorporados a la tierra de los pequeños estanques de prueba, han mostrado siempre elevadas proporciones de infiltración con proporciones máximas de 12 pies que disminuyen a 5 pies al día en 200 días, comparadas con 3.6 pies que disminuyen a 0.3 de pie al día en tierras no tratadas. El desperdicio se aplica en una capa de 2 a 6 pulgadas y luego se incorpora en la tierra. Las proporciones de infiltración inmediatamente después de la aplicación del desperdicio u otras materias orgánicas, son bajas debido a las secreciones biológicas que resultan de los procesos de descomposición. Esa secreción, al secarse, forma una capa bastante estable alrededor de las partículas de tierra y mejora su incorporación. Se establecen mejores condiciones de entrada en la superficie de la tierra con un recubrimiento interior más estable, así como un medio de tierra superficial que parece crear una buena transición en las tierras inferiores no tratadas. Es también posible que la capa que queda alrededor de las partículas de tierra ofrezca menos resistencia al flujo que la tierra no tratada. Los efectos benéficos del desperdicio de las desmotadoras de algodón han sido constantes durante los 6 años del periodo de observación.

El desperdicio de las desmotadoras de algodón incorporado a la tierra y un arado profundo aumentó las proporciones de infiltración en unos cuantos acres de una gran área de dispersión cuando la tierra se consolidó originalmente mediante la nivelación. El promedio normal de infiltración subió de 0.3 de pie a más de 1.0 pie diario, lo que significa una mejoría considerable. Probablemente nunca se alcanzarán las proporciones de infiltración mayores de 2.0 diarios, a menos que se disminuya el efecto limitativo de las capas poco profundas y menos permeables del subsuelo.

Los plantíos bien establecidos de hierba Bermuda en los pequeños estanques de prueba han demostrado siempre elevadas proporciones de infiltración. Las proporciones máximas fueron de 11.6, disminuyendo a 5.4 pies al día en 200 días, comparadas con 3.6 pies disminuyendo hasta 0.3 de pie al día en tierras no tratadas. El efecto benéfico de la hierba Bermuda ha sido constante durante un periodo de 5 años. Esta hierba resistirá la inmersión parcial, y en una ocasión ha sobrevivido a un periodo de sequía que duró 13 meses.

Se consideraron menos benéficos que el desecho de las desmotadoras de al-

godón o la hierba Bermuda otros tratamientos anteriores, tales como yeso, cloruro de calcio, detergentes, remoción de corteza y remoción de la capa superficial.

SE HAN PROBADO SUBSTANCIAS químicas para el acondicionamiento de la tierra a fin de aumentar las proporciones de recuperación. El acondicionador A (sal parcial de calcio de acetato de vinilo-ácido maleico) se incorporó en proporción de 0.1% por peso a 3 pulgadas de tierra seca superficial en un pequeño estanque de prueba. La tierra se humedeció después a una profundidad de 3 pulgadas y se secó. La proporción máxima de infiltración de 11 pies al día, obtenida con el acondicionador A durante la primera prueba, fue del doble de la proporción más elevada obtenida en el mismo estanque antes del tratamiento. La proporción final de infiltración de 3 pies al día, después de 320 días de inmersión, fue 6 veces mayor que la proporción obtenida en el mismo estanque antes del tratamiento durante un periodo de inmersión igual. La segunda prueba, después de secar la tierra aproximadamente hasta el punto permanente de marchitamiento, dio proporciones de infiltración ligeramente menores que la primera.

Las muestras de tierra tratadas con el acondicionador A que se llevaron al laboratorio, mostraron una mejoría bien definida en la incorporación, comparadas con muestras tomadas inmediatamente abajo de las profundidades tratadas. El acondicionador A parece formar una red de partículas de arcilla dentro de la cual se incorporan las partículas de tierra de varios tamaños. Puede aplicarse en grandes cantidades para obtener una buena incorporación a medida que la tierra se hace de contextura más gruesa. Probablemente la tierra tratada evita la obstrucción que ocurriría normalmente en la superficie y proporciona también una buena transición para que el agua penetre hasta la tierra que se encuentra debajo de ella.

El acondicionador B (sulfonato de lignina de amoníaco y azúcares de madera) se incorporó en proporción de 0.5% por peso a 3 pulgadas de tierra seca superficial en un pequeño estanque de tierra. Se rompió con cuidado la corteza producida durante el humedecimiento y secado inicial del acondicionador B, y la tierra se humedeció y secó de nuevo. La manipulación innecesaria de la tierra producirá una destrucción perjudicial en la incorporación. La proporción máxima de infiltración de 9.6 pies al día, obtenida con el acondicionador B durante la primera prueba, fue 3.5 veces mayor que la proporción más alta en el mismo estanque antes del tratamiento. La proporción de infiltración descendió bajo el límite práctico de 1.5 pies al día en 3 meses. Esa proporción fue aproximadamente del doble de la obtenida después de 3 meses de inmersión en el mismo estanque antes del tratamiento. La rápida declinación de la proporción de infiltración durante la primera prueba se atribuyó a la mayor descomposición de los azúcares de madera en el acondicionador B. Las proporciones de infiltración durante una segunda prueba fueron aproximadamente del doble de las obtenidas con una prueba semejante en el mismo estanque antes del tratamiento.

El acondicionador C (complejo orgánico de amoníaco férrico) se incorporó en proporción de 0.4% por peso a 3 pulgadas de tierra seca superficial en un pequeño estanque de prueba. Después del humedecimiento y secado inicial la tierra se revolvió, humedeció y secó de nuevo. El acondicionador C no aumentó las proporciones de infiltración, comparadas con las obtenidas en el mismo estanque antes del tratamiento. Sin embargo, tenemos informes de que este acondicionador es eficaz en tierras que tienen mayor contenido de arcilla que las del área de Bakersfield.

LA SELECCIÓN DE UN TRATAMIENTO, ya sea vegetativo o químico, depende de las condiciones locales de la tierra, del costo de obtención y aplicación de los materiales y de los beneficios posibles. A diferencia de los tratamientos vegetativos, algunas substancias químicas son eficaces desde la primera aplicación.

Los experimentos futuros determinarán si una sola aplicación de substancias químicas es tan benéfica como los trata-

mientos vegetativos durante un largo periodo de tiempo. El acarreo, distribución e incorporación del desecho de las desmotadoras de algodón es costoso. Las hierbas pueden proporcionar beneficios adicionales como cosechas de heno o forraje. Se están buscando métodos eficaces y económicos para distribuir los materiales en la tierra, especialmente cuando se aplican pequeñas cantidades de substancias químicas en áreas extensas. Debe considerarse la aplicación de substancias químicas en soluciones y el empleo de materiales transportadores de esas substancias en estado seco.

Se han probado también otros materiales. La piedra pómez, una roca natural gris o blanca de origen volcánico y con gran cantidad de poros producidos por los gases, no aumentó la proporción máxima de infiltración, pero tendió a mantener una proporción mayor que la normal después del máximo. Los grandes volúmenes de aire dentro de los poros de la piedra pómez pueden prolongar la actividad aerobia por lo menos durante las primeras etapas del humedecimiento. Ese material puede evitar también cierto movimiento normal de las partículas de tierra. Se han sugerido mezclas de acondicionador A y piedra pómez.

Los tratamientos hidráulicos pueden ser la forma más económica de aumentar la proporción de infiltración. El yeso (sulfato de calcio) aumenta la proporción de infiltración cuando los altos porcentajes de sodio tienden a dispersar la tierra. Los detergentes actuales parecen tener poco efecto en la proporción de infiltración en un largo periodo de tiempo.

Hay la posibilidad de aplicar nuevos tipos de detergentes o de aplicarlos combinados con otros tratamientos. En algunos casos pueden usarse germicidas para evitar la obstrucción biológica. Posiblemente puedan desleírse los agentes humedecedores y las substancias químicas para eliminar los materiales obstructores en los pantanos menos permeables. Se están estudiando líquidos que contienen enzimas. Sería ideal un tratamiento con una sola aplicación de agua que promueva la incorporación de la tierra y produzca por algún tiempo grandes poros en ella.

Los tratamientos subsuperficiales del suelo para abrir o penetrar horizontes de tierra menos permeables, incluyen rompimientos, perforación y relleno de tiros y pozos, y construcción de zanjas.

El rompimiento de las capas duras superficiales e interrumpidas que se encuentran bajo las margas arenosas de Exeter duplica el promedio de la proporción de infiltración de las tierras no tratadas. Se perforaron tiros de 4 pies de diámetro y 20 de profundidad, que se rellenaron con grava en todo el material menos permeable para poder llegar y aplicar altas presiones hidráulicas a las tierras gruesas o de alta permeabilidad. La proporción máxima de inyección a través de esos tiros fue de 0.52 de pie-acre diario, que equivale al promedio normal de dispersión en un acre de tierra no tratada. La proporción de inyección disminuyó con el tiempo debido a las obstrucciones.

Los filtros de arena usados en la parte superior de los tiros removieron los materiales arrastrados por el agua, impidiendo la formación de algas en la cubierta de grava. Se amontonó grava en partículas pequeñas sobre algunos de los tiros rellenos con grava para simplificar la filtración. La resistencia debida a los crecimientos de algas en el filtro de arena o en la parte superior de la grava pequeña, disminuyó la profundidad del agua en la cubierta de grava y redujo la proporción del flujo, la que aumentó cuando se removieron esos crecimientos. Debe evitarse el movimiento de algas vivas o muertas o de otros materiales dentro de la cubierta de grava.

Se han iniciado experimentos en los tiros que quedan en contacto con mayores cantidades de material grueso, y se están buscando filtros más sencillos y métodos prácticos para limpiarlos. El empleo de la clorina para impedir la actividad biológica, aunque costoso, es conveniente en algunos casos.

En tres áreas de dispersión se construyeron zanjas hasta de 1,000 pies de largo, 10 pies de profundidad y 10 de ancho en el fondo, con lados en declive. Esas zanjas atraviesan materiales menos permeables y tocan materiales gruesos en proporciones variables. Una de esas zanjas en marga arenosa de Exeter funcionó a ra-

zón de 2.5 pies-acre por acre diario durante la prueba inicial. No se estabilizaron por medio de tratamientos vegetativos o químicos las pequeñas partículas sueltas de tierra en toda la superficie de la zanja, excepto en unas cuantas secciones pequeñas tratadas con acondicionador A. Las proporciones de movimiento de agua dentro de la tierra, medidas por medio de infiltrómetros o tubos de 12 pulgadas de diámetro, fueron 2 y 3 veces mayores en las secciones tratadas con acondicionador A que en las no tratadas, y en éstas, los grandes poros quedaron obstruidos por el movimiento de las pequeñas partículas sueltas de tierra. Las alturas de agua en los piezómetros (tubos de 0.5 de pulgada) colocados bajo el fondo de la zanja de 1 a 40 pies, mostraron grandes pérdidas en la presión de agua en toda la superficie de la tierra debido a las obstrucciones. Los cambios en la altura del agua mostraron una meseta de agua elevada que subía hacia el fondo de la zanja. La meseta de agua, elevada en un estrato profundo, no subió suficientemente en la zanja y su vecindad durante los 2 meses de esparcimiento para interferir con el movimiento de agua de la zanja al interior de la tierra.

La zanja abierta en marga arenosa de Hesperia quedó en contacto con la mayor cantidad de material grueso y funcionó aproximadamente a razón de 6 pies-acre diarios. Esa proporción disminuyó cuando se elevó la meseta de agua en material menos permeable hasta aproximadamente 30 pies debajo de la superficie, y llegó hasta el fondo de la zanja en menos de 2 meses. Esta meseta de agua elevada se alimentó de la zanja y del agua esparcida en las áreas circunvecinas. La entrada quedó en la parte más baja de la zanja y el agua se llevó inicialmente en proporción suficiente para llenar lentamente la zanja, evitando así en gran parte el movimiento de las partículas de tierra. La tierra gruesa tiene menos tendencia a moverse y causar obstrucciones que la fina, pero aun la gruesa causará obstrucciones con el tiempo si la arrastra el agua que contiene pequeñas partículas de tierra. Puede ser necesaria una escariadora para remover la tierra obstruida.



La dispersión de agua en el Canal de Cucamonga, Condado de San Bernardino, California. Los muros transversales de piedra sujetos con alambre de púas grueso, esparcen el agua sobre todo el lecho y crean así el área máxima de infiltración.

Los procedimientos de funcionamiento o manejo, tales como variación de las cantidades, profundidades y localización de los tratamientos de la tierra, métodos de manipulación de la tierra, métodos para humedecer o incubar inicialmente la tierra, duración de los períodos de humedecimiento y secado, tamaño, forma y espaciamiento de las áreas de dispersión y carga superficial, son tan importantes como los tratamientos de la tierra y el agua para la creación de elevadas proporciones de infiltración. Por ejemplo, además de algunos procedimientos ya mencionados, se obtuvieron las mayores proporciones de filtrado en el laboratorio con las muestras de tierra que recibieron el período de incubación más prolongado. La proporción de filtrado fue mayor en las muestras de tierra que recibieron una inundación intermitente y no continua durante el periodo de incubación. Aparentemente la inundación intermitente favorece condiciones aerobias que pueden ser beneficiosas.

La carga superficial, o sea la profundidad del agua en la superficie de la tierra, afecta directamente la proporción de infiltración. Las proporciones de infiltración aumentaron en forma directamente proporcional a la carga total en los infiltrómetros y pequeños estanques de las tierras no tratadas. La carga total consiste en la carga superficial más la longitud de la columna de tierra saturada. Parece que la carga superficial constituye una gran parte de la carga total

en tierras no tratadas que se han obstruido parcialmente.

Parece que los tratamientos de la tierra y los procedimientos de funcionamiento para aumentar las proporciones de infiltración, quedan garantizados cuando éstas son inicialmente menores o tienden a volverse menores que la proporción del filtrado de los horizontes subsuperficiales de tierra relativamente poco profundos. Como los tratamientos se usan para aumentar las proporciones de filtrado, son deseables los tratamientos para obtener aumentos correspondientes en las proporciones de infiltración. Sin embargo, los aumentos en la proporción de infiltración sobre la proporción de filtrado parecen garatizarse en dos casos:

Primero, cuando esos aumentos produzcan una columna saturada de mayor longitud en una capa delgada de material menos permeable. Esa columna más larga ejercerá mayor presión y forzará más agua a través del material menos permeable en determinado periodo de tiempo.

Segundo, cuando esos aumentos produzcan una mayor profundidad de agua en horizontes menos permeables y pueda ocurrir un flujo lateral apreciable. La proporción del flujo lateral al vertical aumenta a medida que disminuye el área. Parece que la mejor forma de obtener un flujo lateral máximo consiste en la ocurrencia y de fajas largas y relativamente angostas. Las áreas entre las fajas de dispersión pueden cultivarse o emplearse como áreas de dispersión alternativas, que podrían usarse en un sistema de rotación en el cual algunas fajas se inundan mientras que otras se secan para que recuperen sus características de infiltración. En un sistema de rotación, las áreas se inundarían solamente cuando las proporciones de infiltración sean relativamente altas, ya que esas proporciones disminuyen con el tiempo durante la inmersión. Los gases producidos por los microorganismos de la tierra, a medida que descomponen la materia orgánica y que tienden a retrasar los promedios de infiltración, se liberarán con más frecuencia en un sistema de rotación de dispersiones. Una baja proporción de infiltración durante un largo periodo de tiempo, produce el desarrollo de condiciones anaerobias y la producción de gases que no son tan fácilmente solubles como los que se producen bajo condiciones aerobias. Por lo tanto, puede ser posible aplicar más agua a la tierra con un sistema de rotación de dispersiones en partes de una gran área que si se inunda toda ella. Puede ser posible esparcir el agua en fajas tratadas de una gran área labrando la tierra entre ellas y aplicando tanta agua a la tierra como si se inundara toda el área. En este caso puede suponerse un "lago subsuperficial".

La reposición artificial del agua del suelo tendrá más importancia a medida que aumenta su utilización. Se ha extendido ya la práctica en relación con la reposición para riegos en el Oeste, especialmente en California, y se está empleando en áreas municipales e industriales del medio Oeste y del Este.

Cada localidad específica requiere estudios y exploraciones individuales de acuerdo con sus condiciones peculiares, y sólo pueden establecerse principios generales para todas las áreas.

Dean C. Muckel *es ingeniero de riegos que desde 1930 se ha dedicado a las investigaciones sobre la reposición de agua del suelo, riegos y suministros de agua en los estados del Oeste.*

Leonard Schiff, *ingeniero hidráulico del Departamento de Agricultura, se graduó en la Universidad de California y se unió al Departamento en 1934, habiéndose especializado en permeabilidad de tierras, particularmente en su infiltración, así como en todas las fases generalizadas de hidrología y dispersión de aguas.*

Medios de controlar las pérdidas debidas a la filtración

C. W. Lauritzen

Considerando la importancia del agua, vale la pena hacer nuevamente hincapié en que aproximadamente una tercera parte de toda el agua que se desvía

para riegos se pierde en su trayecto a la tierra, y que otra tercera parte se filtra a gran profundidad o se desborda durante el proceso de aplicación a la tierra. Una pequeña pérdida es consecuencia natural del uso, pero las pérdidas de esa categoría no pueden tolerarse largo tiempo.

La mayor parte de las pérdidas en tránsito pueden atribuirse a la filtración, que puede eliminarse en gran parte revistiendo los canales de riego. Otras pérdidas durante el trayecto, tales como los desperdicios de operación, pueden disminuirse empleando mejores métodos de manejo.

Ocurren considerables pérdidas debidas a la filtración en el almacenamiento. Esas pérdidas, como las que ocurren en los canales, pueden controlarse revistiendo los depósitos. Es práctica común el revestir los pequeños depósitos de almacenamiento que se usan de un día para otro para controlar la filtración. En la actualidad, el revestimiento de los grandes depósitos no parece económico o práctico, pero puede ser factible en lo futuro.

El Censo Agrícola de 1950 registra la pérdida durante el trayecto de un 19%, o sea 18.4 millones de pies-acre de agua. De acuerdo con la Oficina de Recuperación, el 37% de toda el agua desviada en 46 de los proyectos de esa Oficina, durante 1946, se perdió en el trayecto, correspondiendo el 23% a pérdidas por filtración, y el 14% a desperdicios de operación.

Hay muchos factores que influencian las pérdidas por filtración.

La permeabilidad, o capacidad de transmisión de agua de los materiales de tierra en donde se localiza el depósito o el prisma de un canal, es probablemente el más importante de ellos. Las pérdidas son mayores cuando el agua se transporta a grandes distancias, y son proporcionales al perímetro humedecido y al gradiente hidráulico según quedan influenciados por la profundidad del agua en el canal.

La vegetación a lo largo de los canales y alrededor de los depósitos aumenta las pérdidas, porque las plantas transpiran el agua y a menudo contribuyen indirectamente con las perforaciones que sus raíces hacen en los bordos. Igualmente, los roedores y los insectos causan pérdidas al perforar túneles en los bordos de los canales y depósitos, y la posición de la meseta de agua influencia la filtración en los sitios en que intercepta el prisma del canal.

Por lo que hace al manejo de los sistemas de canales, aun con los mejores procedimientos es difícil regular el flujo en la entrada de un canal muy largo de modo que el agua que necesiten los agricultores pueda quedar disponible sin desperdicio. Puede disminuirse considerablemente el desperdicio de operación en la mayoría de los sistemas de canales, estableciendo depósitos de normalización a lo largo de su curso, de los que puede tomarse el agua para cubrir las demandas locales y a los cuales podrían devolverse los suministros excesivos. Esos depósitos deben revestirse si se construyen en material permeable.

SE NECESITAN MEDICIONES para calcular las cantidades de agua que se pierden por filtración, a fin de ajustar los suministros y revestir los canales. Se han empleado varios métodos para medir la filtración, pero ninguno es completamente satisfactorio.

Los métodos de influjo y reflujo dan resultados razonablemente precisos en largos tramos de canal y en las secciones que están sujetas a fuertes pérdidas. Consisten en medir el agua que fluye en una sección de canal y la que sale de ella. Ese flujo puede medirse con los métodos normales de medición del flujo de las corrientes, canalones, represas o medidores de corriente. La diferencia en la cantidad de agua que entra a un canal y la que sale de él se considera como pérdida en tránsito, y si las compuertas de desviación son herméticas, esa diferencia es la pérdida debida a la filtración y a la evapotranspiración de las plantas.

La precisión de este método queda supeditada a la precisión de las mediciones de la corriente al principio y al fin de la sección. Si las pérdidas no son grandes o si la sección es corta, los pequeños errores de medición pueden significar la diferencia entre una pérdida y una ganancia. Este método tiene sobre otros la ventaja de que pueden hacerse las medi-

ciones con la menor interferencia en la entrega del agua y a un costo menor que las mediciones obtenidas con otros métodos. No es lo suficientemente preciso para determinar las pérdidas en cortas extensiones de canales, excepto cuando esas pérdidas son extremas.

Las mediciones por estancamiento se adaptan mejor para determinar las pérdidas ocurridas en secciones cortas. Se hacen instalando un retén o represa en ambos extremos de la sección del canal, llenando de agua la sección y observando la proporción en que el agua se pierde por filtración. Esa pérdida puede medirse por cualquiera de los siguientes métodos, ya sea midiendo el agua que debe añadirse para conservar el mismo nivel de agua en la sección o midiendo la proporción de descenso del nivel del agua. Se calcula la proporción de filtración del volumen que esto representa mediante la fórmula siguiente:

$$S = \frac{w(d_1 - d_2)L}{PL}$$

En esta fórmula, S es la filtración (pies cúbicos por pie cuadrado por 24 horas); w es el promedio del ancho de la superficie de agua en pies; d_1 es la profundidad del agua en pies al principio de la medición; d_2 es la profundidad del agua en pies después de 24 horas; P es el promedio del perímetro humedecido en pies y L es la longitud en pies de la sección de canal.

El método de estancamiento tiene dos desventajas: Impide la entrega de agua durante las mediciones y es costoso. Cuando las mediciones se hacen antes y después de la estación de riego, se presenta el problema de obtener el agua necesaria para llenar la sección. Las pérdidas registradas antes de la estación de riego y después de ella, cuando el canal ha estado sin agua durante algún tiempo, pueden ser muy diferentes de las que ocurran durante la estación de riego, y hay que tener esto en cuenta. Ordinariamente se hace una serie de mediciones y se emplea el valor de equilibrio. Se supone que la filtración está en equilibrio o en estado constante cuando la proporción cambia muy poco entre mediciones sucesivas.

La permeabilidad de la tierra cambia cuando se aplica agua y disminuye con el tiempo. La disminución de la filtración durante el tiempo que el agua permanece en el canal refleja esta característica general. Si se eleva la meseta de agua cerca del canal, esto disminuirá también aún más la filtración, de acuerdo con el tiempo que el agua permanezca en el canal.

Se han diseñado medidores de filtración y de permeabilidad de varios tipos parecidos para calcular la filtración de un canal sin interferir con su flujo. Consisten de un cilindro o cámara con extremos abiertos que limita una porción del área del lecho del canal, y de un aparato medidor para registrar el agua admitida al área limitada. Algunos de ellos están diseñados para funcionar con una carga constante, y otros, con carga variable.

La permeabilidad del material del lecho del canal puede calcularse por medio de la siguiente ecuación, suponiendo cierto valor para la longitud del flujo:

$$k = \frac{ql}{ah_f}$$

En esta fórmula, q es el volumen de flujo en unidades de tiempo y en pies cúbicos; l es la longitud del flujo en pies; h_f es la pérdida de carga hidráulica en pies, y a es el área limitada en pies cuadrados.

Cuando se substituye la bolsa de plástico o cualquier otro aditamento de carga constante por un tanque de suministro o tubo en los que varía la carga, la permeabilidad se computa como sigue:

$$k = \frac{2.3al}{A} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

En esta fórmula, h_1 es la carga hidráulica al principio en pies; h_2 es la carga hidráulica al fin de la unidad de tiempo en pies; A es el área limitada del lecho del canal en pies cuadrados; a es el área seccional del tanque de suministro en pies cuadrados, y l es la longitud del flujo en pies.

Las pérdidas se expresan normalmente en pies cúbicos por pie cuadrado cada

24 horas o profundidad de aqua que se filtra por unidad de área durante 24 horas. El empleo del medidor de filtración de carga variable o medidor de permeabilidad tiene el defecto de que cuando la carga en el área limitada es mayor que la profundidad del agua en el canal, puede haber cierto movimiento del área limitada a la adyacente, y que cuando la carga en el depósito es menor que la profundidad del agua en el canal, puede ocurrir cierto movimiento de agua del canal al área limitada.

Muchos investigadores han empleado medidores de filtración para calcular las pérdidas.

Ha habido variaciones considerables entre las mediciones, aun en los medidores instalados lado a lado. No se ha precisado si esas diferencias representan diferencias reales en la permeabilidad del material del lecho o errores de medición debidos al funcionamiento del equipo. Algunos investigadores reconocen esa variabilidad, pero creen que puede obtenerse un cálculo de la filtración promediando cierto número de mediciones y ajustando el resultado a la diferencia observada entre las mediciones de este tipo y las pérdidas por filtración medidas simultáneamente en el canal por el método de estancamiento.

Ordinariamente las mediciones con medidores de filtración se hacen en el fondo del canal, porque no pueden instalarse satisfactoriamente en los declives laterales. Esta limitación restringe todavía más la posibilidad de obtener cálculos precisos de las pérdidas de filtración mediante su empleo, ya que aparentemente esas pérdidas son mayores en los lados que en el fondo de los canales.

El medidor de permeabilidad de pozo es otro instrumento que se emplea para calcular las pérdidas por filtración, y consiste de un recipiente calibrado que mide el agua suministrada a un pozo de diámetro uniforme y de profundidad conocida. El agua del pozo se mantiene a un nivel constante, que generalmente es el nivel de operación designado para el canal por medio de un dispositivo de flotador. La filtración se calcula por medio de la cantidad de agua sacada del recipiente durante el periodo de medición.

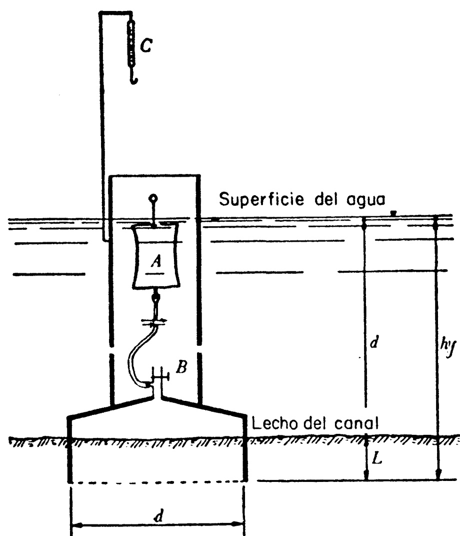
Se puede calcular la permeabilidad de la tierra con esas mediciones, y haciendo ciertas suposiciones, se puede calcular la filtración en un canal en la localidad donde se hayan hecho las mediciones. La conversión se basa en un análisis teórico, pero las suposiciones no pueden precisarse absolutamente. Sin embargo, es difícil correlacionar las cifras de los medidores de permeabilidad con las proporciones de filtración determinadas por el método de estancamiento.

Otra forma de calcular las pérdidas por filtración consiste en utilizar la permeabilidad del material tomado del lecho del canal o a lo largo del curso de un canal en proyecto. Se ha obtenido una buena correlación entre la permeabilidad de capa seca de muestras del material del lecho obtenidas de secciones estancadas de canal y la filtración medida en esas secciones estancadas. Los datos disponibles son muy limitados, pero de acuerdo con los resultados obtenidos en las investigaciones efectuadas en la Estación Agrícola Experimental de Utah, la filtración en las secciones de canal es aproximadamente de 0.15 de la proporción indicada por la permeabilidad de capa seca. Esta relación general no se aplica a las secciones en que los estratos de grava o los lentes de roca fracturada contribuyen a la filtración.

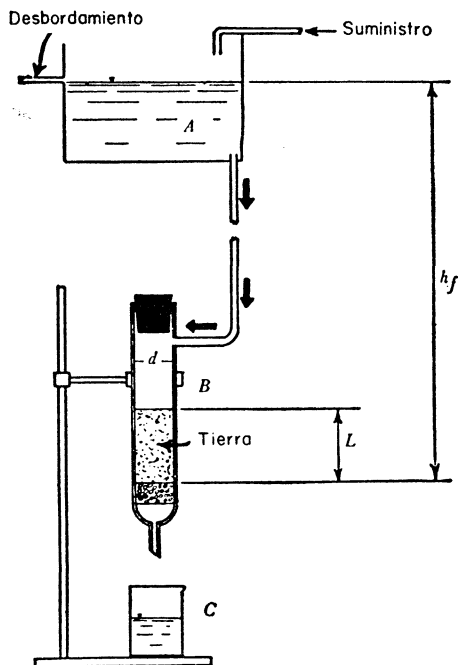
Para determinar la permeabilidad con el método de capa seca, la tierra se seca al aire y se pasa a través de una criba de 20 mallas que se coloca en el medidor de permeabilidad y se consolida en estado seco sacudiendo éste. Se aplica entonces una carga de agua a la superficie y se recoge el filtrado. La proporción de filtrado aumentará en un corto espacio de tiempo y luego disminuirá. Las pérdidas por filtración se calculan mejor por medio de la proporción máxima, porque después de que se llega a ella esa proporción disminuye con el tiempo y se aproxima a cierto valor mínimo. La permeabilidad o el flujo que ocurre a través de la tierra por unidad de gradiente hidráulico, se calcula con la ecuación siguiente:

$$k = \frac{ql}{ah}$$

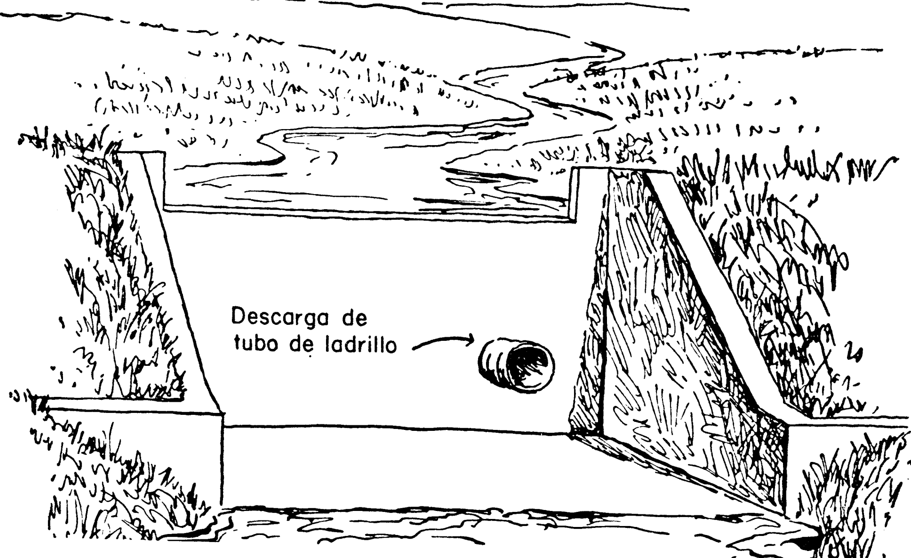
En esa fórmula, k es la permeabilidad; q es la cantidad de filtrado recogida



En este dibujo muestra un medidor de filtración de salinidad empleado para calcular las pérdidas por filtración en los canales de riego. Los labios del medidor de filtración se insertan en el lecho del canal con la válvula *B* abierta. La bolsa flexible *A* se llena con agua del canal y se conectaal medidor por medio de un tubo. Después de que se ha sacado el aire del tubo se cierra la válvula *B* y la bosa *A* se pesa por medio de la báscula *C*. Después de un periodo de tiempo se puede pesar la bolsa *B*. La diferencia en peso representa el peso del agua que se ha filtrado a través del área del lecho del canal limitada por el medidor. La pérdida puede expresarse como profundidad de agua por unidad de área o en términos de permeabilidad, asumiendo un factor para *L*, que frecuentemente se supone que es igual a la profundidad de penetración de los labios del medidor.



Este dibujo muestra el equipo para medir la permeabilidad de las muestras de material de tierra sujetas a disturbios. La muestra se coloca en el tubo del medidor de permeabilidad *B* yse aplica una carga de agua de un tanque de carga constante *A*. La permeabilidad de la muestra se calcula por medio de la ecuación $k = q \frac{1}{ah_f}$ en la que k = permeabilidad; q = cantidad de filtrado *C* recogido por unidad de tiempo: 1 = longitud del flujo; a = área de la columna de tierra o $\pi \frac{d^2}{4}$ y h_f = a la pérdida de carga hidráulica.



en la unidad de tiempo; l es la longitud del flujo; a es el área seccional de la columna de tierra perpendicular a la dirección de flujo, y h es la pérdida de carga hidráulica.

En vista de los problemas y de los errores de los métodos de campo para calcular las pérdidas por filtración, parece que la permeabilidad de las muestras de tierra tomadas del lecho del canal o las muestras del perfil de la tierra a lo largo del curso de un canal en proyecto, ofrecen una solución prometedora para calcular las pérdidas por filtración.

Una de las mayores dificultades estriba en la conversión de los datos de permeabilidad a pérdidas por filtración. Para esto se requiere información sobre el gradiente hidráulico que hace que el agua del suelo fluya hacia afuera de los canales, y en ausencia de esos datos, implica suposiciones con relación a la posición de la meseta de agua del suelo y a la naturaleza del material subsuperficial. Esto es especialmente cierto cuando las mediciones de permeabilidad se emplean para calcular la filtración a lo largo del curso de un canal que va a construirse. El gradiente hidráulico puede medirse a lo largo del curso de un canal que ya está funcionando, por medio de piezómetros instalados en su lecho en cada sitio de muestreo. Los piezómetros se instalan en juegos en una sucesión de profundidades a intervalos aproximados de 3 pulgadas, se mide el nivel de agua en ellos y se calcula el gradiente.

El revestimiento es un medio eficaz de controlar las pérdidas por filtración en los canales y depósitos.

El primer requisito de un revestimiento es que proporcione una barrera a la transmisión de agua. Además, debe ser económicamente factible, y su costo anual, incluyendo los costos iniciales prorrateados sobre el periodo de vida del revestimiento, así como los costos de mantenimiento, no debe de exceder del valor de los beneficios obtenidos.

La función principal de un revestimiento es la de conservar el agua. Protege también la tierra contra la saturación y la salinidad, y dependiendo de su tipo un revestimiento disminuye los costos de mantenimiento de los canales, asegura contra interrupciones en los suministros de agua y ayuda a controlar las hierbas.

Se usan muchos materiales, siendo la tierra, el concreto y el asfalto los materiales básicos que se emplean en los Estados Unidos de Norteamérica. En ocasiones se han empleado también la madera y el metal para la transportación de agua, especialmente en canalones. Los plásticos pueden ser útiles para el revestimiento de canales y en forma de tubería para la transportación de agua.

Los materiales de tierra varían en sus propiedades de transmisión de agua. Algunos materiales de contextura gruesa son un millón de veces más permeables que las tierras de contextura fina. Dentro de ciertos límites, y con algunas excepciones, la permeabilidad aumenta a medida que aumenta el tamaño de las partículas del material. La distribución de tamaños de las partículas proporciona una guía general sobre las propiedades de transmisión de agua de la tierra, pero se ha encontrado que la tierra de la misma contextura puede variar considerablemente en permeabilidad. Una tierra de contextura gruesa como la marga arenosa puede ser menos permeable que algunas arcillas. Debido a la escasa permeabilidad de los materiales de tierra de contextura fina, se han empleado extensamente como revestimientos sobre materiales más gruesos para disminuir las pérdidas por filtración en los depósitos, canales y zanjas. A veces se usan en forma de delgadas cubiertas o colchones, y en otras, como sedimento que arrastran las aguas. Más recientemente ha comenzado a usarse un revestimiento grueso de tierra consolidada.

Los revestimientos mencionados con el nombre de cubiertas delgadas tienen generalmente de una pulgada a un pie de grueso. A veces se colocan en la superficie con muy poca preparación o protección. Otras veces se conforma el canal, el material de revestimiento se esparce y apisona y se añade una cubierta de grava para protegerlo contra la erosión. Cualquiera de estas aplicaciones tenderá a disminuir las pérdidas por filtración; pero las aplicaciones hechas sin

método, ordinariamente no justifican su costo. Los revestimientos delgados de tierra son razonablemente eficaces cuando se utiliza tierra de baja permeabilidad independientemente de su consolidación y se protege el revestimiento con una cubierta de grava u otro material contra la erosión. El revestimiento debe tener por lo menos 3 pulgadas de grueso, pero es mejor un espesor de 4 pulgadas.

Puede variarse grandemente la permeabilidad de la tierra mediante su tratamiento. La permeabilidad de la mayoría de las tierras de contextura fina puede disminuirse en el laboratorio mediante su consolidación cuando están húmedas, pero la baja permeabilidad inducida con ese tratamiento no es permanente. La permeabilidad tiende a aumentar con el uso cuando se emplea la tierra para revestimiento de canales. En consecuencia, sólo los materiales de tierra que tengan baja permeabilidad, independientemente de su consolidación, serán eficaces para controlar las pérdidas por filtración; pero esas tierras son raras, y ordinariamente se componen de depósitos de bentonita de baja calidad.

De los cuatro tipos de bentonitas, sólo la alcalina, el tipo que se dilata al humedecerse, es adecuada para revestimientos. Las bentonitas de alta calidad cuyo volumen de gel es de 80%, más, pueden mezclarse con materiales de contextura gruesa, tales como margas arcillosas en proporción de 10 a 20% para producir un material de revestimiento bastante satisfactorio. Ordinariamente la bentonita comercial de alta calidad cuesta demasiado para usarla en revestimientos; pero si hay depósitos de bentonita cercanos, pueden usarse con buenos resultados las mezclas de tierra y bentonita o una capa de bentonita sola cubierta con otra de tierra y protegidas después con grava.

La prueba más satisfactoria para calcular la eficacia de un material de tierra como revestimiento consiste en medir su permeabilidad. Cualquier material de permeabilidad más baja colocado como cobertura sobre otro material de alta permeabilidad, tiende a disminuir la filtración y, por lo tanto, será de cierta utilidad, pero es más práctico emplear solamente materiales de baja permeabilidad. Arbitrariamente se sugiere una permeabilidad de un pie por año o menor como el máximo aconsejable en materiales que se usen para revestimientos delgados.

La sedimentación es otro método, aunque poco satisfactorio, de disminuir la filtración en los canales empleando tierra. La sedimentación se efectúa mezclando materiales de tierra de contextura fina, tales como arcillas y bentonitas en el agua de un canal, y dejando que se depositen en el fondo. No disminuye las pérdidas en forma suficiente y su eficacia es temporal, porque el material que se emplea para sellar se remueve de la superficie por frotamiento y ese sello se destruye al secarse.

El control de las pérdidas por filtración con este método tiene ciertas ventajas si puede emplearse en debida forma. Puede controlarse la filtración sin remover el agua del canal y el costo del tratamiento debe ser bajo. Se han investigado varios materiales para emplearse como revestimientos de sedimento, y entre ellos están las bentonitas comerciales y los depósitos de materiales de tierra de contextura fina.

Un nuevo tipo de revestimiento es el revestimiento grueso de tierra consolidada, que se construye apisonando el material en capas de 6 pulgadas. El contenido de humedad de la tierra debe ser óptimo para obtener un apisonamiento máximo. El ancho del revestimiento en los declives laterales debe ser aproximadamente de 8 pies, que es el ancho requerido para el funcionamiento del equipo de construcción normal. Si se instala el revestimiento en un declive lateral de 2 a 1, su espesor debe ser aproximadamente de 3 pies, siendo su espesor en el fondo ligeramente menor que el de los declives verticales.

Las mediciones de filtración hechas inmediatamente después de la construcción de un canal revestido con una capa gruesa de tierra apisonada, mostraron aproximadamente las mismas pérdidas que en una sección semejante del canal revestida de concreto. Se informa que las pérdidas por filtración en algunos revestimientos gruesos de tierra consolidada y apisonada instalados en Canadá fueron

satisfactorias en un principio, pero han mostrado una tendencia a volverse más permeables y a producir escurrimientos abundantes después de varios años de uso. Algunas mediciones de volumen y peso hechas en los revestimientos, indican que su peso por unidad de volumen ha disminuido con el tiempo, debido probablemente a la acción de las heladas y del humedecimiento y secado.

El éxito de los revestimientos gruesos de tierra consolidada depende del empleo de materiales satisfactorios. Con este método se puede emplear una mayor variedad de materiales que con los tipos delgados, y generalmente los materiales más satisfactorios para revestimientos gruesos consolidados son las arcillas arenosas y de grava. Si hay mucha arcilla presente, o si ésta es del tipo que se dilata, hay cierta tendencia a que se produzcan fracturas y el revestimiento se vuelve inestable. Esos revestimientos se han usado con y sin cubiertas protectoras, pero éstas seguramente prolongan su duración.

EL CONCRETO SE HA EMPLEADO comúnmente para el revestimiento de canales. Es bastante costoso, pero da un servicio prolongado y exento de molestias. El revestimiento normal de concreto consistía generalmente de losas de concreto de 3 a 4 pulgadas reforzadas con varillas de acero con una distancia entre centros de un pie en ambas direcciones. Sin embargo, una inspección de los revestimientos de concreto instalados por la Oficina de Recuperación no pudo probar que el empleo del refuerzo de varillas de acero en ellos justificara el costo adicional. La práctica actual consiste en usar concreto sin reforzar, excepto en aquellos lugares donde una falla del revestimiento podría causar daños en otros sitios además del revestimiento mismo, tales como áreas residenciales o industriales.

Para que sean duraderos, los revestimientos de concreto deben limitarse a los sitios que tengan buen desagüe y tierras que no se dilaten. Si esto se hace, esos revestimientos deben dar buen servicio en cualquier parte de nuestro país. El espesor mínimo de esos revestimientos es cuestión muy discutida, pero se considera razonable emplear 3 pulgadas de concreto sin reforzar en el Norte, y 2 pulgadas de concreto semejante, en el Sur.

Las juntas de expansión sólo se necesitan donde los revestimientos quedan adyacentes a algunas estructuras. Deben construirse juntas de contracción con centros de 10 a 12 pies en los revestimientos de concreto de 3 pulgadas, y con centros de 6 a 8 pies en los de 2 pulgadas. Las contracciones que se producen al secarse el concreto normalmente no producirán fracturas en las losas que queden entre las juntas.

Cuando esos revestimientos se instalan en tableros, las juntas de construcción sirven como juntas de contracción. Los revestimientos que se colocan usando formas deslizables y máquinas pavimentadoras pueden ranurarse a una profundidad aproximada de una tercera parte del grueso de la losa, lo que proporcionará puntas de contracción satisfactorias. A causa del debilitamiento inducido por la ranuración en ese punto, las fracturas se localizarán a lo largo de ella. La disposición de las juntas (en vez de dejar que las fracturas ocurran en cualquier punto) permite sellarlas y elimina la posibilidad de que las fracturas desiguales se conviertan en puntos focales de desprendimiento de esquirlas.

El compuesto sellador más satifactorio, y que se empleaba más comúnmente en en 1955, era un mastique aplicado en frío, de estructura interna, compuesto de fibra y asfalto. Tiene cierta elasticidad y une bastante bien cuando se aplica a superficies de concreto limpias. Sin embargo, se deteriora con el tiempo y tiene que reemplazarse periódicamente.

Los revestimientos de concreto deben construirse con buen concreto debidamente mezclado. Se encontrará una fuente de información en el folleto titulado *La Preparación y Control de Mezclas de Concreto,* publicado por la Asociación de Cemento Portland, de Chicago, Illinois. Otra fuente de información es el *Manual de Concreto,* preparado por la Oficina de Recuperación y que se puede obtener del Superintendente de Documentos, Washington, 25, Distrito de Columbia.

La calidad del concreto depende del

agregado que se emplee y de la fuerza de la pasta de cemento, debiendo emplearse solamente un agregado bien graduado y entero. La proporción de agua a cemento debe conservarse tan baja como sea posible, con miras a la economía y a obtener la consistencia debida para una colocación satisfactoria. Es aconsejable preparar una mezcla para cada trabajo y mantener un cuidadoso control de ella durante la construcción. Esto puede ser impracticable si no se cuenta con un laboratorio y con técnicos experimentados, pero puede obtenerse una mezcla satisfactoria siguiendo las instrucciones dadas en el folleto publicado por la Asociación de Cemento Portland.

La inclusión de 3 a 5% de aire en el concreto aumenta grandemente la duración de las superficies que quedan expuestas. Pueden adquirirse cementos que contienen un agente inductor de aire o puede adquirirse separadamente ese agente y añadirse al agua de mezcla. El aire icluido aumenta la facilidad de manejo de la mezcla y permite el uso de una proporción menor de agua a cemento.

La forma de los revestimientos de concreto puede variar de semicircular a rectangular, pero ordinariamente esos revestimientos son de forma trapezoidal con declives laterales que varían de 1 a 1.5 en sentido horizontal a 1 en sentido vertical. Los revestimientos semicirculares y rectangulares necesitan que el concreto se moldee, lo que aumenta su costo, y ordinariamente no se fabrican, a menos de que existan condiciones especiales tales como canales en colinas muy escarpadas que hagan indeseable el empleo de secciones trapezoidales. Si el concreto se coloca a mano, los declives laterales no deben ser mayores de 1.5 a 1, que es aproximadamente el límite tolerable de pendiente, a fin de evitar que el concreto se desplome durante su cribado y terminación. Se pueden usar declives laterales tan pronunciados como de 1 a 1, si los revestimientos se colocan con formas deslizables y máquinas pavimentadoras. Si se emplea concreto sin moldear, ordinariamente es más satisfactorio para revestimiento de canales un concreto que tenga aproximadamente 2 pulgadas de desplome.

La colocación y acabado a mano de los revestimientos de concreto está siendo reemplazada con las formas deslizables y las máquinas pavimentadoras. El empleo de máquinas para la colocación de revestimientos de concreto ha disminuido su costo y hay oportunidad para una mecanización mucho mayor, especialmente en la excavación y acabado de canales pequeños antes de colocar el concreto. Sin embargo, la construcción de los revestimientos de tableros de concreto hecha a mano puede ser todavía el método más económico para revestir pequeños canales, si los mismos agricultores llevan a cabo ese trabajo.

El costo de no revestimiento de 3 pulgadas sin refuerzo en una obra típica fue de 2.62 dólares por yarda cuadrada, del cual corresponden 88 centavos a la excavación y acabado, 72 centavos a la colocación y el resto al concreto. El trabajo se hizo en su mayoría con mano de obra de granja. A menudo los revestimientos de concreto de los canales grandes se instalan con máquinas pavimentadoras.

El concreto neumático es una forma que consiste de cemento portland y arena, y que se aplica por medios neumáticos. Se ha empleado extensamente para revestimientos, especialmente en el Sur, y para renovar la superficie del concreto viejo y de los cortes de roca. A excepción de los revestimientos muy delgados, es más costoso que los revestimientos de concreto hechos con formas deslizables.

El cemento de tierra, o sea la tierra estabilizada con cemento portland, se ha empleado para revestir unas cuantas secciones de prueba en los canales, pero no ha resultado muy satisfactorio para el revestimiento de canales en general.

Se ha empleado también el asfalto para el revestimiento de canales, habiéndose usado mezclas en frío semejantes a las que se emplean en las carreteras, así como concreto asfáltico. Las mezclas en caliente que consisten de un agregado de arena y grava con un ligamento de cemento asfáltico con una penetración de 50 a 60, han dado resultados bastante satisfactorios. La mezcla consiste de una

revoltura de arena y grava con un agregado máximo de 0.75 de pulgada y aproximadamente 8% de asfalto como ligamento. Debe prepararse una mezcla para cada trabajo y se coloca con una forma deslizable o una plantilla caliente que se mueve lentamente a lo largo del canal por medio de un malacate o tractor. En los canales grandes, los revestimientos de concreto asfáltico podrían instalarse muy bien con máquinas pavimentadoras.

La membrana asfáltica enterrada es un material nuevo que consiste de una capa de asfalto sobre la cual se coloca una capa de tierra de contextura fina y una cubierta protectora de grava. En uno de sus tipos se hace una aspersión de asfalto catalítico directamente a la subestructura. Este asfalto tiene un punto de suavizamiento de 175° a 200° F. y se aplica a una temperatura aproximada de 375°, conservando su flexibilidad en una amplia gama de temperaturas sin volverse fluido. Es muy resistente y aplicado debidamente proporciona una barrera eficaz contra la filtración. La subestructura donde se aplica debe estar lisa y firme, y si es de contextura gruesa debe cubrirse con un cojín consistente en una capa de material de contextura fina. Igualmente, las primeras pulgadas del material de cobertura deben ser de contextura fina y la cubierta debe consistir de material con una contextura lo suficientemente gruesa para resistir la erosión.

El empleo del revestimiento de membrana asfáltica enterrada se limita a los canales cuyas velocidades de corriente son de 3 pies por segundo, o menores, y requiere una cubierta de grava. La profundidad total de la capa no debe ser menor de un pie. Debe hacerse una excavación adicional en el canal antes de colocar el revestimiento, a fin de compensar el grueso del mismo. Normalmente esto no es un problema serio, porque cuando se termina la mayoría de los canales de tierra, tienen una capacidad adecuada, si ya la tenían antes del revestimiento. Los revestimientos de membrana asfáltica enterrada pueden instalarse rápidamente y a bajo costo inicial, y en condiciones de clima que son inadecuadas para las construcciones de concreto y de tierra. Se han hecho instalaciones satisfactorias sobre ligeros mantos de nieve y en subestructuras suaves y húmedas cuando están heladas, a fin de que puedan sostener el equipo de construcción.

Los revestimientos de membrana asfáltica enterrada que se instalan debidamente con su cubierta de protección darán buen servicio por lo menos durante diez años. Como el asfalto catalítico para aspersiones tiene un elevado punto de suavizamiento y debe aplicarse en caliente, necesita equipo especial y ordinariamente requiere una obra por contrato. Por lo tanto, el tipo de aspersión se adapta menos al revestimiento de pequeños canales o en secciones cortas de canales más grandes que algunos otros tipos. El asfalto se transporta en caliente en carros tanques de ferrocarril que contienen de 8,000 a 12,000 galones, o para obras pequeñas en camiones-tanques. Hay que impedir que se solidifique durante el trayecto, porque el volverlo a licuar después de que se ha solidificado es costoso.

Los revestimientos prefabricados, el segundo tipo, hacen posible el empleo de membranas asfálticas enterradas en obras pequeñas. Se fabrican en rollos semejantes a las láminas asfálticas para techar, y su principal desventaja consiste en la gran cantidad de mano de obra necesaria para instalarlos. El prisma del canal debe tener una sección uniforme, y hay que tener mucho cuidado al colocar el revestimiento a fin de evitar las pequeñas aberturas o arrugas a lo largo de las uniones, obteniendo así un forro impermeable. Debidamente instalados, los tipos prefabricados pueden dar mejor servicio que los tipos de aspersión, ya que están exentos de las imperfecciones de las membranas y son más resistentes a la penetración de las raíces de las plantas.

Los revestimientos asfálticos aproximadamente de media pulgada de grueso se han usado como revestimientos al descubierto en los canales y depósitos. Su empleo no ha sido lo suficientemente extenso para probar su durabilidad, pero proporcionan un control eficaz de la filtración. Las ventajas de su empleo en los canales sobre los tipos enterrados, con-

sisten en que se requiere un perímetro de revestimiento menor y en que pueden soportar corrientes de mayor velocidad.

LAS INVESTIGACIONES preliminares sobre la película plástica y las láminas de hule sintético para usarse como revestimientos descubiertos no han sido completamente satisfactorias. Es casi imposible instalar esas delgadas membranas en un canal sin algunas arrugas que son perjudiciales. Su delgadez las hace susceptibles a los daños causados por el ganado, los implementos de labranza y otros riesgos a que están sujetos los revestimientos de canales. Esas objeciones se eliminan cuando se emplean esos materiales como revestimientos enterrados, pero entonces tienen las características de los otros tipos de revestimientos semejantes. Se requiere una zanja de sección muy grande, la velocidad debe quedar limitada aproximadamente a 3 pies por segundo y debe suministrarse una cubierta de material resistente a la erosión. La ligereza de los materiales hace posible su manejo en grandes unidades con menos mano de obra. Las arrugas no disminuyen la eficacia de las membranas como barrera contra la filtración del agua, y como quedan enterradas no afectan las características superficiales del revestimiento.

El hule de butilo resiste la deterioración debida a la exposición, a las actividades biológicas y a la penetración de las raíces, propiedades que son deseables cuando se busca la duración en un revestimiento.

EL COSTO DE REVESTIMIENTO depende del manejo de la obra, de las condiciones del sitio y de la disponibilidad y costo de los materiales. Pueden ser útiles unas cuantas cifras que se relacionan con trabajos normales. El revestimiento de un canal con concreto de 3 pulgadas sin reforzar puede instalarse, incluyendo la excavación y preparación de la subestructura, a un precio aproximado de 3 dólares por yarda cuadrada. Los revestimientos de membrana asfáltica enterrada cuestan normalmente alrededor de un dólar por yarda cuadrada. Los revestimientos de membranas enterradas construidas con materiales tales como películas de polietileno y de cloruro de polivinilo, pueden costar un poco menos que los revestimiento con membrana asfáltica enterrada. Los revestimientos de tierra y los de membrana enterrada generalmente son más baratos, pero esto depende de la localidad y condiciones del sitio.

LOS TUBOS SON LOS MEDIOS más eficientes para la transportación del agua de riego y proporcionan un control máximo. En las localidades en donde hay disponible una considerable carga de agua, como ocurre cuando el agua se trae de alturas mayores a otras inferiores, las líneas de tubería generalmente son tan económicas como los canales abiertos. El empleo de tuberías en vez de zanjas abiertas en los sistemas de distribución de campo tiene sus ventajas: Puede ararse la tierra ocupada normalmente por las zanjas; se eliminan los cruces, hierbas y mantenimiento de zanjas, y se disminuyen las pérdidas por filtración y las necesidades de mano de obra.

Antiguamente las tuberías consistían primordialmente de tubos de concreto, acero o secciones de madera. Los tubos de acero y de concreto se usan todavía extensamente. La tubería de concreto reforzado con empaques de hule se usa comúnmente en los sistemas de distribución principal, y los tubos de concreto no reforzado se usan en sistemas de distribución de baja presión en las granjas.

Una nueva variación consiste en el tubo de concreto vaciado en el sitio, que cuesta menos.

El tubo prefabricado o monolítico no tiene refuerzo y está diseñado para cargas de baja presión que no excedan ordinariamente de 10 pies. Los contratistas lo garantizan comúnmente por un año contra fugas. El grueso de las paredes varía de 2.5 pulgadas para un tubo de 24 pulgadas, hasta 5 pulgadas para uno de 48 pulgadas. En una obra de California el tubo de 48 pulgadas se construyó al bajo costo de 5.15 dólares por pie lineal y se alcanzó una producción de 150 pies por hora. Aparentemente el tamaño de 36 pulgadas fue el más económico en su construcción. El tubo de 24 pulgadas es más costoso por unidad de

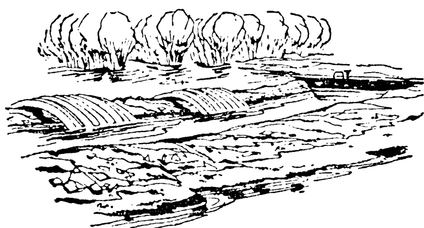
capacidad debido al espacio de trabajo tan restringido, y los tamaños mayores cuestan más porque necesitan una estructura más pesada. Comúnmente se emplean 6 bolsas de concreto con un máximo de una pulgada de agregado y partes iguales de arena y grava, manteniéndose una baja proporción de agua a cemento, a fin de asegurar la temprana resistencia y facilitar el acabado.

Otro descubrimiento prometedor para los sistemas de distribución de granja es la tubería flexible que se coloca plana, que disminuye las filtraciones y elimina el mantenimiento de zanjas y el problema de los cruces sobre las minas. Es más flexible y puede moverse de un lugar a otro. La tubería puede obtenerse con salidas de espita espaciadas a intervalos convenientes para desviar el agua a los surcos de riego.

Entre los materiales que se emplean para la fabricación de tubería flexible están la lona y los plásticos con soportes. Las tuberías de plástico con soportes son fáciles de manejar, porque son ligeras y se conservan secas en el exterior, siendo apropiadas para sistemas con presiones relativamente altas si cuentan con materiales de soporte de alta resistencia.

HAY PROBLEMAS, tanto financieros como técnicos, que limitan la adopción de medidas para el control de la filtración. Habría que revestir todos los canales y la mayoría de ellos deberían tener revestimientos de concreto si el costo no fuera un obstáculo. Si los agricultores pudieran hacer el desembolso, deberían tener sistemas de distribución con tubería subterránea; pero para 1955 sólo alrededor del 5% de todos los canales de riego estaban revestidos y el porcentaje de revestimiento en los canales laterales de campo era mucho menor. Se ha puesto en servicio una cantidad considerable de tubería subterránea en algunas áreas, especialmente en California. La extensión de los revestimientos y el mayor empleo de tuberías subterráneas para los sistemas de distribución de granjas tendrán que esperar a que sean económicamente justificables y a que los usuarios tengan la capacidad financiera suficiente para hacer esas mejoras.

El mayor factor de atraso para el revestimiento de los canales y laterales es la incapacidad de los usuarios para beneficiarse con el agua ahorrada. Bajo la legislación existente en 1955, un usuario que tenga derechos de agua apropiados, se beneficiará muy poco si hace



inversiones de fondos para revestimientos, porque no podría utilizar el agua ahorrada en esa forma para el riego de tierras adicionales u obtener un reembolso de su inversión financiera en esos revestimientos en alguna forma. De hecho podría suceder que los revestimientos perjudicaran sus derechos de agua debido a la falta de utilización de la parte de su agua que ahorrara mediante el uso de sistemas de transportación y distribución más eficientes.

Es probable que se difieran los extensos programas de revestimiento, excepto en lugares en donde el suministro de agua es insuficiente o donde la filtración está perjudicando la tierra adyacente a los canales. Esta situación presenta un problema: El ahorro de agua beneficia a todo el mundo y es necesario adoptar medidas para lograrlo.

C. W. LAURITZEN, *miembro del personal del Servicio de Investigación Agrícola, está adscrito al Colegio Agrícola del Estado de Utah, en Logan. El Doctor Lauritzen ha estado encargado de las investigaciones sobre pérdidas por filtración y sobre revestimiento de canales y depósitos desde 1944, trabajando en cooperación con la Estación Agrícola Experimental de Utah.*

El agua de riego y las tierras saladas y alcalinas

Milton Fireman y H. E. Hayward

SI EL AGUA DE RIEGO es de buena calidad puede producir una mejoría en la tierra en que se aplica debido al calcio que contiene y al efecto benéfico derivado del desleimiento o lavado de cualquier exceso de sales de la tierra, pero si la calidad del agua es inapropiada, la tierra puede deteriorarse hasta quedar imposibilitada para producir cosechas satisfactorias.

Cuatro características principales determinan la calidad del agua para riegos: La concentración total de sales solubles; la concentración de sodio y la proporción del sodio al calcio más el magnesio; la concentración de bicarbonato y la presencia de los elementos menos importantes, tales como el borón, en cantidades que puedan ser tóxicas.

La concentración total de sales solubles es una consideración esencial en las aguas que se usan para riegos. El contenido de sal de la mayoría de las aguas de riego varía de 0.1 a 5 toneladas de sal por pie-acre de agua (aproximadamente de 70 a 3,500 partes por millón). La cantidad de sales solubles en el agua de los ríos de los estados del Oeste varía grandemente: 70 partes por millón en el río Columbia, en Wenatchee; 1,574 partes por millón en el río Sevier, cerca de Delta, Utah, y 2,380 partes por millón en el río Pecos, en Carlsbad, New Mexico. El río Colorado, una importante fuente de agua de riego de los estados del Sudoeste, contiene aproximadamente una tonelada de sales solubles por pie-acre de agua (740 partes por millón).

El contenido de sal de un río puede cambiar corriente abajo del mismo, debido al flujo de retorno de los desagües y a causa de la disolución de los minerales a medida que el agua se mueve a lo largo del lecho del río. Las sales solubles en el río Grande, por ejemplo, aumentan desde alrededor de 180 partes por millón en Otowi Bridge, New Mexico, hasta 780 partes por millón en El Paso, Texas, y 1,770 partes por millón en Fort Quitman, Texas. Sin embargo, la concentración de sal en el bajo Río Grande disminuye debido a la baja concentración de sales en algunos de los tributarios, en tal forma que en Río Grande City, Texas, a más de 900 millas de distancia de Fort Quitman hacia abajo del río, la cantidad de sales solubles es sólo aproximadamente de 525 partes por millón.

La variación de la concentración de sal en el agua del suelo bombeada de los pozos puede ser mucho mayor que la de las aguas superficiales. El agua del suelo de pozos cercanos uno a otro puede ser diferente en concentración de sales y en su composición.

Aún las variaciones en el agua de diferentes profundidades en la misma localidad pueden ser considerables. El análisis de muchos pozos en el Valle Coachella, de California, indicó una variación en el contenido de sales solubles de 130 partes por millón, hasta aproximadamente 8,500 partes por millón. Dos pozos con profundidades de 565 y 180 pies, respectivamente, a una distancia de media milla uno de otro, tenían concentración de sal aproximadamente de 400 y 8,500 partes por millón, respectivamente.

La evaporación de la humedad de la superficie de la tierra no remueve la sal de ésta y las raíces de las plantas absorben una cantidad relativamente pequeña. En consecuencia, el uso de aguas saladas para riego produce la acumulación de sales solubles en la tierra, a menos que se impida por medio del desleimiento y desagüe. Sin embargo, se puede usar para riegos el agua que tenga un grado moderado de salinidad, si el desagüe es suficiente y si se aplica el agua de riego en bastante cantidad para que una parte de ella pase a través del perfil de la tierra y se descargue en los sistemas de desagüe. En ese caso la concentración de sales solubles en el agua restringirá las cosechas que puedan cultivarse a aquellas que tienen una tolerancia moderada a la sal. Sin embargo, si se usan aguas saladas tan escasamente que no haya ningún sobrante para desagüe, habrá un aumento en la salinidad de la tierra.

Debido al problema potencial de sali-

nidad en donde se usan aguas saladas para riego, deben proporcionarse facilidades de lavado y desagüe para remover las sales disueltas, que de otro modo se acumularían en la zona de raíces o en el subsuelo inmediatamente abajo de ella.

Carl F. Scofield se refirió a la relación existente entre la cantidad de sales disueltas liberadas en una área con el agua de riego y la cantidad removida de esa área por las aguas de desagüe, llamándola equilibrio de sal del área. Si se trata de obtener un equilibrio favorable de sal, la salida de sales debe ser aproximadamente igual al suministro. Cuando el equilibrio de sal es desfavorable, el suministro de sales excede a su salida, debiendo evitarse que esto ocurra en la agricultura de riegos permanentes.

LA SALINIZACIÓN DE LA TIERRA afecta al crecimiento de las plantas de cosecha en dos formas distintas:

La primera es una disminución en la cantidad de agua absorbida por las raíces. Esto ocurre porque los continuos riegos con aguas saladas, en ausencia de un equilibrio favorable de sal, producen un aumento gradual pero progresivo de la presión osmótica de la solución de tierra. La presión osmótica es una medida de las sales solubles que se encuentran en solución y proporciona una forma de expresar la concentración de la solución de tierra bajo una base de energía. El retraso del crecimiento es virtualmente lineal, con aumentos en la presión osmótica de la solución de tierra, y es independiente en gran parte de la clase de sales que se encuentren presentes. En casos extremos la tierra puede volverse tan salada que ni siquiera puede ayudar al crecimiento de plantas halófitas (plantas tolerantes a la sal), de igual manera que cuando las tierras se vuelvan tan secas que no pueden ayudar al crecimiento de plantas xerófitas (plantas adaptadas para crecer en condiciones de sequía).

El efecto de una cantidad determinada de sales solubles en la solución de tierra se intensifica a medida que disminuye el contenido de humedad de la tierra entre cada riego, según lo indica el aumento de la presión osmótica de la solución de tierra que acompaña al secado. Además, a medida que una tierra se seca gradualmente después de un riego, aumenta la atracción superficial de la tierra hacia el agua, conocida como tensión de humedad de la tierra. El esfuerzo de humedad de la tierra se define como la presión osmótica de la solución de tierra más la tensión de humedad de la tierra.

Los experimentos efectuados en 1946 y 1948 por C. H. Wadleigh y otros, han demostrado que si no hay otros factores limitativos, el crecimiento vegetativo de las plantas de cosecha se relaciona estrechamente con el esfuerzo normal de humedad de la tierra. Se ha demostrado igualmente que la absorción del agua de la tierra por las raíces de las plantas depende del esfuerzo de humedad de la tierra. Por lo tanto, uno de los efectos principales de la salinidad de la tierra es la limitación del suministro de agua de las plantas. Esto induce modificaciones de crecimiento que se asocia ordinariamente con la falta de agua en los tejidos de las plantas.

Pueden existir grandes variaciones entre las aguas de riego con respecto a la clase de sales que se encuentren presentes, así como a la cantidad de sales en solución. Cuando las sales se disuelven en agua, se disocian o separan en cantidades químicamente equivalentes de partículas o iones cargados positiva o negativamente, llamándose cationes a los iones positivos y aniones a los negativos.

Los iones principales en las aguas de riego son los cationes de calcio, magnesio y sodio, y los principales aniones, los bicarbonatos, sulfatos y cloruros. Otros iones que pueden encontrarse presentes son el carbonato de potasio, nitrato, sílica, hierro y borón, pero ordinariamente ocurren en bajas concentraciones. En ocasiones las aguas pueden tener un alto contenido de bicarbonatos y con menos frecuencia de nitratos. En aguas de bajas concentraciones totales de sal, los bicarbonatos exceden frecuentemente del contenido combinado de sulfatos y cloruros; pero en los ríos con alto contenido de sal, tales como el Arkansas, Colorado, Gila, Pecos y Río Grande, las sales predominantes son los sulfatos o cloruros.

Las sales de sodio se encuentran or-

dinariamente presentes en las aguas de riego, y si la proporción de sodio es alta puede ser absorbido por las partículas de tierra y producir una condición física desfavorable. Cuando esas tierras están húmedas tienden a aglomerarse impidiendo el movimiento del agua y del aire y formando terrones duros al secarse. Por lo tanto, las aguas de riego con altos porcentajes de sodio pueden necesitar prácticas especiales de manejo.

El problema del sodio se agrava con el uso de aguas que tienen un bajo contenido total de sales pero un alto porcentaje de bicarbonato. Puede no ser aconsejable el empleo de agua que tenga un contenido total de sales relativamente bajo y un porcentaje de sodio (Na x 100/total de cationes) que esté dentro de límites razonables, si la cantidad de bicarbonato es considerablemente mayor que el contenido de calcio y magnesio. A este exceso de bicarbonato sobre el calcio más el magnesio se le llama residuo de carbonato de sodio, y la presencia de ese residuo es muy común en los estados del Oeste. De un grupo aproximado de 450 suministros de pozos y corrientes en el Valle de San Joaquín, un poco más de la mitad contenían residuos de carbonato de sodio. Esas condiciones existen también en muchos otros sitios, en el río White, en South Dakota; en el río Sevier, en Utah; en el río Humboldt, en Nevada, y en el Nilo, en Egipto.

Cuando un agua de riego que contiene residuos de carbonato de sodio se evapora en la tierra, se precipitan los carbonatos de calcio y magnesio y aumenta el porcentaje de sodio en la solución de tierra. Entonces el sodio reemplaza al calcio en las partículas de tierra, aumenta el porcentaje intercambiable de sodio en la tierra y pueden perjudicarse sus condiciones físicas, especialmente su permeabilidad. Además, puede aumentar el pH y disolverse la materia orgánica, produciendo la coloración oscura típica de la llamada "tierra negra alcalina".

Pueden acumularse en la solución de tierra algunas sales o iones que son inofensivos a bajas concentraciones, en cantidades suficientes para causar reacciones tóxicas en las plantas. Los iones que tienen más probabilidad de causar esa reacción son los de sodio, cloruro, bicarbonato y sulfato. Con menos frecuencia se encuentran síntomas tóxicos en las cosechas que se cultivan en tierras que tienen cantidades excesivas de calcio y magnesio. Pueden también acumularse en los tejidos de las plantas el selenio, litio y fluoruro que se encuentran en algunas aguas y tierras. Ordinariamente el selenio y el fluoruro no afectan el crecimiento de las plantas, pero pueden tener graves efectos en la vida animal. Una fracción de una parte por millón de litio en las aguas de riego produce quemaduras en los extremos y márgenes de las hojas de los cítricos, así como su defoliación.

Además de los efectos indirectos del sodio en el crecimiento de las plantas que resultan de una modificación adversa de las propiedades físicas de la tierra, hay alguna evidencia de su toxicidad específica. Si el contenido de sodio de la tierra es muy alto, puede producir la quemadura del extremo de las hojas de los almendros y una tostadura de las hojas de los aguacates. La quemadura de las hojas de las variedades de algodón sensibles a la sal se ha relacionado con un alto contenido de sodio en las hojas, y otros cationes comunes afectan ciertas cosechas específicas, siendo ejemplo de ello el guayule, un arbusto que produce hule y que es nativo de Norteamérica, que crece con dificultad cuando sólo hay cantidades moderadas de magnesio soluble.

La acumulación del ion de cloruro en los tejidos de las plantas produce frecuentemente síntomas tóxicos. Entre las plantas de cosecha que son sensibles al ion de cloruro están los duraznos y otras frutas de hueso, las pacanas, algunas variedades de cítricos, los aguacates y algunas uvas. Muchas especies no son más sensibles al cloruro que a concentraciones iguales de sales de sulfato, aunque hay noticias de sensibilidad específica a altas concentraciones del ion de sulfato en los tomates, lino, algodón y hierba de huerto.

El ion de bicarbonato es tóxico porque su acumulación en la solución de tierra afecta la nutrición mineral y tiende a disminuir la disponibilidad de hierro en muchas plantas. Los huertos de manzanos

en Washington se vuelven cloróticos cuando se riegan con agua que tiene grandes cantidades de bicarbonatos, y el uso continuado de esa agua puede afectar gravemente la nutrición mineral de los árboles. Se ha demostrado también la toxicidad específica del ion de bicarbonato en la hierba Dallis. La disminución de crecrimiento de las judías, acompañada de clorosis, se hace más pronunciada a medida que aumentan las concentraciones de bicarbonato. Por otra parte, los betabeles de jardín son mucho más tolerantes al bicarbonato.

El borón es uno de los elementos constitutivos menores que se encuentra prácticamente en todas las aguas naturales. Deben analizarse las aguas de riego si se sospecha que se encuentre presente en proporciones tóxicas. El borón es esencial para el crecimiento de las plantas, pero puede ser tóxico a concentraciones ligeramente en exceso de las que son necesarias para el crecimiento óptimo.

En cosechas sensibles al borón puede ocurrir la toxicidad con concentraciones tan bajas como una parte por millón. Puede considerarse como excelente el agua que contenga una parte por millón, o menos, de borón. Sin embargo, en la mayoría de las cosechas el agua que contenga de una a dos partes por millón es satisfactoria y puede usarse el agua hasta con 3 partes por millón en las cosechas que son más tolerantes al borón. Si el agua contiene más de 3 partes por millón, puede considerarse como dudosa o definitivamente inapropiada para fines de riego. El borón produce síntomas de toxicidad que han ocurrido en los cítricos y en los nogales del sur de California, y en esas mismas cosechas y algunas otras en otros sitios.

Las aguas de riego se clasifican bajo la base de los elementos constitutivos en solución más importantes, a fin de que pueda preverse con cierta seguridad el efecto del agua en las cosechas y en las tierras. Esa clasificación supone que el agua se usará bajo condiciones normales con relación al clima, cantidad de agua utilizada, desagüe, contextura y permeabilidad y tolerancia de las cosechas a la sal. Bajo circunstancias extraordinarias puede ser posible utilizar un agua que en condiciones normales se consideraría peligrosa. A la inversa, en ciertas condiciones la utilización de un agua "buena" puede ser peligrosa.

El Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica ha propuesto un sistema para clasificar las aguas de riego basándose en dos factores principales. Las aguas se dividen en cuatro clases con respecto a su concentración de sal, o riesgo de salinidad, y en otras cuatro clases con respecto a la cantidad probable en que la tierra absorberá el sodio del agua y al periodo de tiempo requerido para que se perjudique la tierra riesgo de sodio). Basándose en esos dos criterios, se determinan las características del agua de riego con mediciones químicas y se les asignan valores que indican la calidad total del agua.

OCURRE UN PROBLEMA de gran importancia económica para el agricultor cuando se presentan condiciones de salinidad o de alcalinidad en buenas tierras de labranza. Esto puede suceder como resultado de causas naturales, tales como aguas saladas del suelo y mal desagüe; de causas debidas al hombre, tales como la aplicación de aguas de riego de mala calidad, manejo indebido de la tierra y carencia de facilidades de desagüe, o de alguna combinación de esos factores.

Las tierras saladas y alcalinas contienen concentraciones excesivas de cualquiera de esas sales solubles, de sodio absorbido (álcali), o de ambos. Las fuentes originales de esas sales constitutivas son los minerales primarios que se encuentran en las tierras y en las rocas expuestas de la corteza terrestre. Como resultado de la descomposición química y del desgaste físico, los elementos constitutivos solubles se liberan gradualmente de los minerales, y esas sales solubles en las áreas húmedas se arrastran hacia abajo por las lluvias hasta el agua del suelo y finalmente se transportan por las corrientes hasta los océanos.

El desleimiento se localiza ordinariamente en la naturaleza en regiones áridas y las sales solubles pueden no ir muy lejos. Esto sucede porque hay menos lluvias que deslían las sales solubles de la tierra y las arrastren muy lejos, y porque

las altas proporciones de evaporación características de los climas áridos tienden a concentrar las sales en las aguas del suelo y en las tierras.

El desagüe inadecuado se asocia con las condiciones de salinidad y alcalinidad de la tierra y contribuye a su gravedad. Debido a las escasas lluvias en las regiones áridas, los canales superficiales de desagüe pueden estar mal preparados y, por lo tanto, las cuencas de desagüe pueden carecer de salidas a las corrientes permanentes. Las aguas cargadas de sal escurren de las tierras altas circunvecinas de la cuenca hacia las tierras bajas y pueden inundar temporalmente la superficie de la tierra o formar lagos salados permanentes.

Los problemas de la salinidad y alcalinidad de la tierra ocurren más a menudo como resultado del riego de tierras en los valles nivelados que puedan estar exentos de sal y bien desaguados en condiciones naturales, pero cuyas facilidades de desagüe pueden ser inadecuadas para manejar el volumen adicional de agua del suelo que es consecuencia de las prácticas de riego. En ese caso el nivel de agua del suelo puede subir desde una profundidad considerable hasta unos cuantos pies de la superficie de la tierra en un periodo de tiempo relativamente corto, y cuando esto sucede, el agua se mueve hacia arriba hasta la superficie de la tierra como resultado de la evaporación y de su utilización por las plantas. Esto aumenta el contenido de sal de las tierras superficiales y del agua de la tierra en la zona de raíces, formando tierras difíciles que varían en área de unos cuantos acres hasta cientos de millas cuadradas.

Frecuentemente ocurre la deterioración de la tierra como resultado de la aplicación de aguas de riego buenas o malas a tierras con desagües defectuosos, ya que en ese caso no puede evitarse la acumulación de sales solubles. Se presentan también problemas de salinidad y alcalinidad si las facilidades de desagüe son adecuadas, pero el agua de riego se aplica en cantidad insuficiente para el desleimiento necesario del exceso de sales.

UNA TIERRA SALADA contiene suficientes sales solubles distribuidas en ella en tal forma que interfieren con el crecimiento de la mayoría de las plantas de cosecha. Ordinariamente la tierra tiene sólo una reacción ligeramente alcalina (pH 7.0 a 8.5) y contiene muy poco sodio absorbido. Las tierras saladas se reconocen a menudo por la existencia de una corteza blanca de sal o de superficies húmedas con aspecto aceitoso desprovistas de vegetación; por el crecimiento raquítico de las plantas de cosecha con variaciones considerables de tamaño, cuyo follaje es de color verde azulado profundo, y a veces por la quemadura de los extremos y márgenes de las hojas. Sin embargo, ordinariamente se emplean mediciones químicas y de conductividad eléctrica en vez de simples observaciones para calcular la salinidad de la tierra. La determinación del estado de salinidad en términos de la respuesta de las plantas debe tener en consideración la capacidad de retención de humedad de la tierra además de su contenido de sal.

El agua necesaria para el proceso de crecimiento de las plantas se absorbe por las raíces de la solución de tierra. Muchas plantas de cosecha absorben y transpiran o evaporan 500 libras de agua en una estación por cada libra de materia seca producida. La humedad de la tierra en las regiones áridas se repone por medio de los riegos con agua que contenga cantidades apreciables de sales solubles, o por el movimiento hacia arriba de las aguas del suelo más o menos saladas. En cualquier caso, con cada aplicación de agua se añaden sales solubles a la tierra. Además, se aumenta la concentración entre cada riego debido al agua que se pierde en la tierra por evaporación, así como por la transpiración de las plantas, y como ya mencionamos antes, la concentración total de las sales solubles y no su naturaleza química es principalmente responsable de los efectos perjudiciales de las tierras saladas en el crecimiento de las cosechas.

A menudo no es económicamente factible mantener una tierra en estado de baja salinidad. La razón puede ser la extremada salinidad del agua de riego, el costo de proporcionar un desagüe adecuado o la baja permeabilidad inherente de la

tierra, y entonces el agricultor tiene que resignarse a vivir con la sal.

Puede adoptar prácticas de manejo que aminoren los efectos de la salinidad, y puede hacer una prudente selección de cosechas o variedades de ellas que produzcan rendimientos satisfactorios bajo condiciones de salinidad moderada. Al escoger cosechas para tierras saladas, debe darse atención especial a su tolerancia a la sal durante el periodo de germinación.

Con frecuencia las malas cosechas se deben a la dificultad de obtener un plantío satisfactorio. Es posible modificar las prácticas de siembra para aminorar la acumulación de sal alrededor de las semillas y mejorar los plantíos de cosechas bajo condiciones de salinidad. En el Manual núm. 60 del Departamento de Agricultura, titulado *Diagnosis y Mejoramiento de Tierras Saladas y Alcalinas,* se encuentran recomendaciones sobre prácticas de manejo y se da una lista de la tolerancia a la sal de muchas especies y variedades de plantas de cosecha.

Las características químicas de las tierras saladas se determinan principalmente por las clases y cantidades de sales que se encuentran presentes.

Como consecuencia de las cargas eléctricas en sus superficies, las partículas de tierra absorben y retienen cationes tales como los de sodio, calcio y magnesio. Los iones absorbidos se combinan con las partículas de tierra; pero pueden intercambiarse libremente con otros iones en la solución de tierra, reacción que se llama intercambio de cationes. La proporción de los diversos cationes en ese complejo de intercambio se relaciona con su concentración en la solución de tierra. El calcio y el magnesio se intercambian con menos facilidad que el sodio, y como las sales de sodio rara vez compreden más de la mitad de los elementos constitutivos de las tierras saladas, las partículas de arcilla absorben muy pocas cantidades de sodio. Por lo tanto, los iones que se absorben en las tierras saladas son principalmente de calcio y magnesio. Esas arcillas son estables en el agua, forman gránulos o migas con facilidad y ayudan a producir un medio favorable para la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas.

Debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia de cantidades considerables de sodio absorbido, las tierras saladas son generalmente floculadas y, en consecuecia, su permeabilidad es igual o mayor que la de tierras semejantes que no contienen sal. Por lo tanto, si hay un desagüe adecuado el exceso de sales solubles puede desleirse con los riegos ordinarios.

UNA TIERRA ALCALINA (o de sodio) contiene suficiente sodio (intercambiable) absorbido para interferir con el crecimiento de la mayoría de las plantas de cosecha. La tierra puede tener una reacción altamente alcalina sin que contenga cantidades excesivas de sales solubles. Esas tierras corresponden a la clase de tierras llamadas de "álcali negro", y ocurren frecuentemente en pequeñas áreas irregulares llamadas "sitios lisos". Ordinariamente el sodio se convierte en el catión dominante en tierras alcalinas, ya sea debido a la acumulación de las sales de sodio o como resultado de la precipitación de las sales de calcio y magnesio.

A medida que aumenta la proporción de sodio intercambiable, las tierras tienden a separarse y volverse impermeables al agua y al aire. Como la arcilla parcialmente saturada de sodio es altamente separable, puede arrastrarse hacia abajo a través de la tierra y acumularse en los niveles inferiores en donde la tierra puede convertirse en una capa densa de estructura columnar que tiene baja permeabilidad. Se hace cada vez más difícil reponer el suministro de agua de la zona de raíces por medio de riegos, y más difícil también establecer una situación de cultivo superficial que sea favorable para la germinación de las semillas y para el crecimiento de los retoños.

Las tierras alcalinas pueden mejorarse o reacondicionarse reemplazando el sodio intercambiable perjudicial con calcio y magnesio que son beneficiosos. Esto se logra generalmente con la adición de reformadores químicos cuya clase y cantidad dependen de las características de la tierra, de la proporción de reposición deseada y de consideraciones económicas.

Se usan pruebas químicas para obtener un cálculo de las cantidades de reformadores químicos necesarios para disminuir el sodio intercambiable a un nivel dado. El sodio es relativamente fácil de reemplazar, así que la cantidad de calcio que hay que añadir para asegurar su reposición es sólo ligeramente superior al sodio que se encuentra presente. El sodio liberado debe removerse desliéndolo con agua para asegurarse de que la reacción sea completa.

El tiempo que requiera su reacción en la tierra puede influenciar la elección de un reformador. En general, los reformadores más baratos tienen una reacción más lenta, y, por lo tanto, si se desea el reemplazo inmediato del sodio intercambiable, se necesitará un reformador de acción más rápida aunque sea más caro. Debido a su elevada solubilidad en el agua, el cloruro de calcio es probablemente la fuente de calcio soluble más fácilmente accesible, pero rara vez se emplea debido a su costo. El ácido sulfúrico y los sulfatos de hierro y aluminio que se hidrolizan fácilmente en la tierra para formar ácido sulfúrico, son también reformadores de acción rápida y relativamente costosos. Son también útiles, pero generalmente demasiado costosos, la cal-azufre, el azufre, los gases que contienen azufre y otros ácidos. Estos ácidos y los reformadores que producen ácidos deben emplearse solamente en tierras calcáreas, porque reaccionan con la piedra caliza (carbonato de cal) para producir calcio soluble que reemplaza el sodio absorbido. Debido a su costo relativamente bajo, el yeso es el reformador que se emplea más comúnmente para el reacondicionamiento. La proporción de reacción del yeso queda limitada solamente por su solubilidad, relativamente baja en el agua.

Excepto en los sitios donde se usa el azufre, las tierras alcalinas deben lavarse inmediatamente después de la aplicación de reformadores. Ese lavado disuelve y arrastra el reformador hacia abajo y remueve el sodio soluble reemplazado por los reformadores que contienen calcio.

Sin embargo, el reacondicionamiento de la tierra alcalina requiere algo más que el reemplazo del sodio absorbido, ya que deben devolvérseles sus buenas condiciones físicas. Esto implica un nuevo arreglo y agregación de las partículas de tierra, a fin de formar gránulos que produzcan un buen cultivo. Se ayuda a obtener una buena estructura de la tierra humedeciéndola y secándola alternativamente, congelándola y descongelándola, o mediante la actividad de las raíces de las plantas y de la materia orgánica.

Una tierra salina-alcalina contiene cantidades excesivas tanto de sales solubles como de sodio absorbido, distribuidos en tal forma que se disminuye el crecimiento de la mayoría de las plantas de cosecha. La tierra tiene rara vez una reacción altamente alcalina (pH superior a 8.5). Las tierras se forman como resultado de los procesos combinados de salinización y de la absorción de sodio, y mientras haya abundancia de sales, el aspecto y propiedades de esas tierras ordinariamente son semejantes a los de las tierras saladas. Si se lava el exceso de sales solubles pueden cambiar marcadamente las propiedades de la tierra y volverse semejantes a las de las tierras alcalinas. Se vuelven fuertemente alcalinas, las partículas se separan y la tierra no favorece la entrada y movimiento del agua y de los gases, ni tampoco la labranza.



El manejo de las tierras salinas-alcalinas es entonces semejante al de las alcalinas, es decir, deben removerse las sales solubles y el sodio intercambiable mediante la adición de reformadores seguida de lavados de la tierra. En teoría resulta económico lavar la mayor parte de las sales solubles antes de la aplicación de reformadores. Sin embargo, esto no se recomienda, porque la permeabilidad de

las tierras salinas-alcalinas disminuye marcadamente cuando se lavan, lo que retrasa la proporción de recuperación. A menudo las tierras salinas-alcalinas contienen yeso, y cuando se lavan, el yeso se disuelve y el reemplazo del sodio intercambiable por el calcio ocurre conjuntamente con la remoción de los excesos de sales.

LA HISTORIA DEL DESARROLLO de los riegos en este país y en otras partes, muestra que, aunque pueden atribuirse algunas fallas a condiciones económicas o sociales desfavorables y algunas otras a la carencia de la ingeniería adecuada, la mayoría de ellas han sido debidas a condiciones desfavorables del agua, de la tierra y de los desagües.

Muchas gentes han sabido por experiencia que la productividad de algunas tierras de riego puede ser relativamente de corta duración. Por otra parte, se ha tenido éxito con muchas áreas de riego, que continúan siendo altamente productivas durante largos periodos de tiempo. Esto parece indicar que la labranza de riegos llevada a cabo durante mucho tiempo puede ser práctica cuando las condiciones son favorables. Además, si se precisan y entienden bien las causas de las fallas habidas, pueden descubrirse y emplearse métodos para evitarlas.

MILTON FIREMAN *es miembro del Servicio de Extensión Agrícola de la Universidad de California, y está encargado de los problemas relacionados con tierras salinas y alcalinas y calidad del agua en California. El doctor Fireman se graduó en la Universidad de Arizona y recibió su doctorado en la Universidad de California, en Berkeley.*

H. E. HAYWARD *es director del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica en Riverside, California, del Servicio de Investigación Agrícola. El doctor Hayward se graduó en la Universidad de Minnesota y recibió su doctorado en la Universidad de Chicago.*

La planeación de un vasto proyecto de riego

John R. Riter y Charles LeMoyne, Jr.

UN SISTEMA DE RIEGO en gran escala es una empresa considerable que requiere investigación, planeación y progreso de acuerdo con un plan de actividades definido. Se relaciona con problemas económicos, sociales, legales, políticos e intrarregionales o internacionales. Tiene que considerar tres elementos básicos, tierra, agua y habitantes, y requiere los conocimientos combinados de muchas profesiones.

La planeación comprende el estudio de toda el área o cuenca de desagüe para obtener el beneficio máximo por medio de la utilización de los recursos naturales conocidos. Esa planeación no es difícil en sí, y es un trabajo interesante y atractivo que requiere visión, sentido común y el deseo de aceptar ideas nuevas y de rechazar otras que puedan impedir su total desarrollo. A medida que la planeación progresa a la etapa de desarrollo físico activo y se mueve a través de las diversas fases de construcción, hay necesidad de revisiones y de nuevos estudios a medida que las condiciones cambiantes afectan el plan de riegos o según lo necesiten los desarrollos futuros, siendo muy importante la flexibilidad.

La etapa de reconocimiento, la primera en la planeación, comprende una revisión abreviada de todos los principales problemas de ingeniería, de tierras y de aguas para determinar si se garantiza una inspección más detallada con el fin de estrechar el campo para un estudio detallado de las partidas que se relacionen con el mejor proyecto final.

La planeación de reconocimiento se ocupa solamente de los factores principales y sólo en términos generales. El personal asignado a la tarea comprende hombres con vasta experiencia. Sólo se necesitan unas cuantas personas para hacer un reconocimiento que permita la evaluación de las potencialidades de riego de las tierras y del agua. El objetivo primario es crear un proyecto de riego; pero

no hay que perder de vista el concepto primordial del máximo desarrollo posible, que puede tener consecuencias significativas al tomar una decisión.

Antes de que se adopte un plan definitivo tiene que hacerse un estudio en el terreno. Como hay muchos posibles usos del agua, deben evaluarse sus posibilidades de desarrollo en relación con los riegos, tales como energía hidroeléctrica, suministros de agua para usos domésticos, municipales o industriales, control de inundaciones, navegación, salubridad pública, pesca y fauna, actividades recreativas y control de la salinidad para el máximo desarrollo de las cuencas. En las áreas de riego el factor limitativo del agua rige a menudo hasta qué punto se destina ésta a riegos o a otros fines.

La planeación durante la etapa de practicabilidad, o sea la segunda, debe ser detallada y concluyente en la formulación de planes para el proyecto de riego, reconociendo que el plan que se propone inicialmente puede quedar sujeto a cambios cuando se construya el proyecto de riego.

La planeación durante esta etapa sigue procedimientos bastante bien definidos.

Reconociendo la importancia del agua, varias agencias federales y estatales han compilado informaciones sobre el desbordamiento de las corrientes y recogido datos climatológicos. Sin embargo, cuando no hay datos adecuados para determinar el suministro potencial de agua, puede hacerse una estimación de la información faltante. Se necesita también información sobre la cantidad y distribución de agua anualmente, la utilización del agua por los que tienen derechos de prioridad sobre una corriente, la cantidad de agua sobrante que puede regularse, el tiempo en que ocurre ese sobrante y las posibilidades de almacenamiento de los flujos sobrantes que ocurren en años de abundante desbordamiento.

Los proyectos de riego en gran escala combinan a menudo la utilización de suministros superficiales y del subsuelo para cubrir todos los requerimientos. Por lo tanto, tiene que hacerse un estudio de las posibilidades del agua del suelo y un análisis de todos los registros de suministros de aguas superficiales y subsuperficiales, con relación a los flujos críticamente escasos, normales y de inundación; conduce a la determinación de los tamaños y complejidad de las obras de ingeniería necesarias. Esos estudios, juntamente con los análisis de la situación física, pueden indicar la posibilidad de construir un proyecto con fines múltiples.

Debe determinarse también la calidad del agua que habrá disponible. Las tierras adecuadas para riegos y cosechas que vayan a cultivarse pueden quedar limitadas por la calidad del agua. Los riegos pueden afectar adversamente los derechos existentes sobre el agua si la calidad cambia considerablemente con el uso de flujos de retorno de las tierras que vayan a regarse.

Los flujos de inundación requieren una consideración especial, y las principales estructuras de almacenamiento o desviación de las corrientes deben diseñarse con vertederos o desagües adecuados para manejarlas. El diseño apropiado asegurará la estabilidad de las presas y obras de control y, a su vez, la estabilidad del proyecto de riego. Los usuarios del agua necesitan tener la seguridad de que una vez que ésta quede disponible para riegos podrán utilizarla cuando se necesite.

Las corrientes interestatales generalmente quedan sujetas a sus propias leyes. Los derechos para el uso de aguas están sujetos a las constituciones, estatutos, convenios, tratados y decisiones de los tribunales de los países y estados que atraviesan. Ese compuesto total de autoridad constituye la ley del río, y los planes para la utilización del agua deben apegarse a esa ley.

La practicabilidad de un proyecto de riego depende de la continua capacidad productora de la tierra en donde quede disponible el agua. En la planeación de un proyecto de riego se hace un examen completo de las tierras, que se clasifican de acuerdo con sus aspectos físicos y económicos. La clasificación de tierras es básicamente una clasificación económica para determinar sus capacidades productoras, los requisitos de producción y la cantidad de desarrollo de tierras nece-

sario para la continua agricultura de riegos.

El procedimiento general que se sigue en la clasificación de tierras comienza con el examen del área general y termina con la designación de las tierras de riego a las que hay que dar servicio. Las tierras pueden clasificarse como arables si tienen la suficiente capacidad de pagos cuando funcionan como granjas de riego para cubrir todos los gastos de producción, incluyendo los cargos anuales por agua, y para proporcionar dividendos suficientes a la mano de obra y al capital. Las tierras se llaman de riego si son tierras arables dentro de granjas de riego a las que pueda suministrarse agua bajo el plan de ingeniería escogido.

Las consideraciones fundamentales que se siguen al hacer esa evaluación son las que se mencionan a continuación:

Un estudio de los recursos de la tierra en una área totalmente desarrollada que tiene condiciones físicas y climatológicas semejantes al área que se está investigando.

Un análisis de la probable influencia de los factores físicos específicos en la economía de producción, en los costos de la tierra y en el desarrollo del área.

La división de los factores físicos en categorías que tengan una significación económica aproximadamente igual y la preparación de las especificaciones de clasificación de las tierras del proyecto.

La aplicación de las especificaciones de clasificación de las tierras a la clasificación arable.

La modificación de esa clasificación arable a medida que se obtengan informaciones adicionales de carácter físico, de ingeniería, hidrológico y económico.

La terminación de la clasificación de riegos o localización de las tierras específicas que se crean apropiadas para el desarrollo de riegos bajo el plan en proyecto.

La clasificación de tierras se lleva a cabo en el campo mediante la evaluación de las características del suelo y de las condiciones topográficas y de desagüe. Debe obtenerse una gran cantidad de datos básicos adicionales relativos a agronomía, economía e ingeniería, correlacionándolos con las características físicas y químicas de la tierra para la designación de las diferentes clases de ella. Se reconocen seis clases de tierra, cuatro de regadío, una que temporalmente no es de riego y una que no puede ser de riego. Esas clases representan grados de practicabilidad para la labranza de riegos y son necesarias primordialmente para los análisis de utilización de la tierra y para el pago de la deuda. Los datos de clasificación de tierras se registran en mapas topográficos básicos o en fotografías aéreas que muestran la localización de las tierras de regadío y los linderos entre las diferentes clases de tierras. Los resultados de ese trabajo de campo se compendian en informes técnicos detallados.

Si el suministro de agua es el factor limitativo, los datos de clasificación de tierra arable y las investigaciones iniciales se usan como base para seleccionar la localización de las áreas de riego que se incluirán en el proyecto; pero si la tierra es el factor limitativo, los datos de clasificación de tierra arable se emplean primordialmente como base para el diseño de un sistema de riego apropiado para el área.

La aplicación de principios de ingeniería y un criterio razonable son esenciales para el diseño y construcción de obras para suministrar agua de riego a la tierra en cantidades controladas y apropiadas para su utilización en las cosechas. Para ello los pasos importantes consisten en investigaciones y exploraciones de ingeniería en las que se incluyen las interpretaciones geológicas, la preparación de diseños preliminares y cálculos de costos, y la determinación de los costos anuales de operación, mantenimiento y reposición. Los estudios de ingeniería relacionados con el agua, la tierra y las características físicas del proyecto, generalmente se efectúan al mismo tiempo, y, por lo tanto, se requiere una continua coordinación para eliminar el trabajo innecesario y costoso al preparar los planos del proyecto.

Las limitaciones físicas, tales como la cantidad de agua disponible, extensión y localización de las áreas que pueden regarse, posibles sitios de almacenamiento y problemas de construcción, deben eva-

luarse durante los estudios de ingeniería. Los ingenieros efectúan inspecciones para determinar la localización de las presas y depósitos de almacenamiento, represas de desviación, canales principales, plantas de bombeo, sistemas de distribución y sistemas de desagüe.

En las etapas iniciales de una investigación, ordinariamente se hace un reconocimiento del proyecto como medida preliminar para los estudios más detallados. Ese reconocimiento es general y se hace tan rápida y económicamente como sea posible. A veces se fijan las alturas por medio de un altímetro, y las distancias se calculan a escala por medio de los mapas disponibles o se obtienen con las lecturas de los velocímetros de los vehículos. La información obtenida en esa forma generalmente da a los ingenieros encargados de la planeación los datos básicos de ingeniería que les permiten preparar un programa para las inspecciones técnicas más detalladas.

Las inspecciones y exploraciones detalladas localizan las principales características de ingeniería del proyecto y obtienen datos que se usarán en la preparación de los diseños de practicabilidad y en las estimaciones. El levantamiento de mapas topográficos de las áreas de depósito y sitios de las represas, del área del proyecto y, en muchos casos, de la localización de los canales principales, debe completarse en las primeras etapas del estudio. Por medio de inspecciones aéreas que proporcionan datos topográficos con la precisión deseada, pueden levantarse rápidamente mapas de grandes áreas. Sin embargo, esta nueva técnica de la agrimensura no ha eliminado la necesidad de hacer extensas investigaciones de campo para obtener datos adicionales. Las inspecciones básicas de ingeniería dependen del establecimiento de buenas bases de medición horizontales y verticales.

Los estudios geológicos proporcionan datos básicos sobre los materiales de tierra y condiciones subsuperficiales necesarias para el diseño de presas, túneles, plantas de bombeo y canales. Se necesita información semejante para el desarrollo de sistemas adecuados de distribución y desagüe. Los materiales locales que se considere que pueden usarse durante la construcción se prueban para determinar si son apropiados. Se obtienen datos sobre estabilidad y permeabilidad de la tierra y otros aspectos que pudieran influenciar el tipo y diseño de las estructuras. Todos los datos se ponen a disposición de los ingenieros responsables de la preparación de los planes de practicabilidad.

Durante la preparación de esos planes se hacen estudios para determinar las estructuras más apropiadas para las condiciones existentes. La economía de la ingeniería es muy importante: El ingeniero debe diseñar una estructura adecuada para el trabajo, que sea lo más económica posible en su costo inicial y en su costo anual de funcionamiento, mantenimiento y reposición. Debe tener en cuenta también otras responsabilidades en la construcción de obras nuevas, la protección de la vida humana, la protección de las mejoras ya existentes y la responsabilidad de un desarrollo conveniente y progresivo.

Cuando se han terminado los planes de practicabilidad y se han calculado las cantidades de materiales necesarias para la construcción, el ingeniero puede determinar el costo de la estructura aplicando los precios corrientes de mano de obra y materiales a las cantidades de trabajo y materiales calculadas. El producto final de los muchos cálculos y diseños individuales es el costo estimado de la construcción, y a esa cifra debe añadirse una cantidad que cubra los costos de ingeniería, supervisión y administración necesarios para la terminación del proyecto.

Debe determinarse un costo anual que represente la suma total de los costos anuales de operación, mantenimiento y reposición que sean necesarios para conservar el proyecto de riego en buen estado de funcionamiento. A menudo es más difícil estimar ese costo que determinar el costo de la construcción.

Para hacer una estimación razonable de los costos anuales de operación, mantenimiento y reposición, debe cristalizar el plan del proyecto. Es indispensable obtener extensa información sobre cada estructura importante y debe precisarse el esquema de la unidad de granja. Cuando se han obtenido esos datos puede pla-

nearse la organización necesaria para el funcionamiento y mantenimiento, puede calcularse el equipo requerido, pueden determinarse los materiales y suministros necesarios para la operación y mantenimiento y puede calcularse la vida probable de las partes componentes que necesiten reposición. Al fijar precio a esas partidas se obtiene un costo anual que representa el promedio de inversión que se calcula que será necesario cada año para mantener el proyecto funcionando en buenas condiciones.

Se hacen estudios de reembolsos para determinar la capacidad de pago de los usuarios del agua y para hacer recomendaciones sobre el reembolso de los costos de construcción distribuidos entre los riegos. La determinación de la capacidad de pagos se obtiene mediante un extenso estudio de las posibilidades agrícolas del área del proyecto sin el desarrollo propuesto, comparándolas con las condiciones que se supone que existirán al terminarse el desarrollo propuesto. El implemento principal de este estudio es el análisis del presupuesto de granjas. La formación de presupuestos de granja requiere una precisión absoluta al seleccionar y comprobar datos, especialmente los que se relacionan a deudas distritales ya existentes, precios básicos, rendimientos, requerimientos de ingresos, capacidad directiva, nivel de utilización de la tierra, tamaño de las granjas, presupuestos para vida de familia y cargos de intereses. Ese análisis es la base de los cálculos de riego y se emplea también para preparar un análisis financiero compendiado.

El reembolso recomendado se define como el pago razonable anual que se espera de los usuarios del agua en el área del proyecto que puede aplicarse a la liquidación de los costos de construcción distribuidos. Los elementos necesarios para esa estimación son la capacidad de pagos calculada, la distribución de los cargos de construcciones de riego y los costos de operación, mantenimiento y reposición calculados.

Como la mayoría de los grandes desarrollos de riego en gran escala forman parte de proyectos de propósitos múltiples, a menudo se determinan los costos calculados de construcciones de riego mediante un análisis y distribución de los costos totales del desarrollo del proyecto entre los varios fines del mismo.

Generalmente los costos caen en dos categorías, reembolsables y no reembolsables. Los costos reembolsables pueden subdividirse en costos sin intereses y con intereses. Es relativamente fácil determinar los costos específicos, pero a menudo la distribución adecuada de costos conjuntos constituye un problema.

Los siguientes métodos para la distribución de costos conjuntos de las obras de los proyectos se consideran como los más aceptables: El método de costos separables y beneficios subsecuentes; el método alternativo de desembolsos justificables, y el método de utilización de facilidades. No todos esos métodos se pueden aplicar igualmente y ninguno de ellos proporcionará una solución satisfactoria en todos los casos. La elección de la aplicación de cualquier método debe basarse en las leyes y políticas existentes, con la mira de proporcionar una base equitativa para la distribución y repartición de los costos de construcción entre los varios fines propuestos. Es posible preparar un análisis de reembolsos con los costos de construcción, con la distribución de costos de operación, mantenimiento y reposición, y con las entradas conocidas.

Para la preparación de un análisis comprensivo de reembolsos deben calcularse anticipadamente todos los costos que puedan ocurrir durante el desarrollo de un proyecto de riego en gran escala, tanto por lo que hace a cantidades como al tiempo en que puedan ocurrir. Deben calcularse también con anticipación todos los ingresos que pueda considerarse razonablemente que quedarán disponibles como consecuencia directa del desarrollo, tanto por lo que hace a cantidades como al tiempo en que ocurran. Esta información constituye la base para el análisis de reembolsos del futuro desarrollo.

Los resultados del análisis de reembolsos permitirán conocer las posibilidades de pago del proyecto contra los costos de construcción en cualquier número de años. Cuando el proyecto tiene la posibilidad de reembolsar los costos incurridos en su construcción dentro de un tiempo razonable, y de cubrir los costos anuales que

se calcula que serán necesarios para su operación, mantenimiento y reposición, puede decirse que el proyecto es financieramente factible y que se justifica su construcción.

El desarrollo del proyecto puede justificarse aún más mediante una comparación de los beneficios netos que resulten de su construcción con los costos que se calcule que serán necesarios para obtenerlos. Una proporción entre los beneficios y los costos que exceda de la unidad indicará la conveniencia del desarrollo.

La planeacion oportuna y adecuada eliminará todas aquellas propuestas que son indeseables y que no son económicamente factibles.

SUPONGAMOS QUE SE HA ENCONTRADO factible un proyecto de riego en gran escala planeado con toda clase de detalles; que los intereses locales recomiendan su construcción, y que se han hecho los arreglos necesarios para obtener el financiamiento necesario y asegurar su reembolso. Para continuar ese desarrollo se necesitan otras etapas adicionales que incluyen la obtención de datos de campo bien detallados que no eran necesarios durante la planeación del proyecto, pero que ahora son indispensables para la preparación de los diseños finales; la preparación de diseños y especificaciones; la preparación de planos de construcción, y la obtención de los derechos de paso necesarios.

Hay que dejar un lapso de tiempo razonable antes de iniciar la construcción para permitir que se terminen los diseños de ciertas porciones de la obra que se construirán en las etapas iniciales. Esas porciones, que generalmente se planean para construirse inicialmente, son el campo de construcción, caminos de acceso, sistemas de agua y líneas de energía. Durante la planeación del proyecto se establece un esquema preliminar de construcción para todas las partes componentes. Ese esquema se revisa, y se ajusta si es necesario, para que pueda utilizarse como una base sólida al llevar a cabo el programa de construcción.

Hay que mantener una coordinación y cooperación absolutas entre los ingenieros diseñadores y los ingenieros constructores para asegurar la preparación de diseños y especificaciones a su debido tiempo, y para corregir o aliviar las demoras durante la construcción. Las visitas de inspección al proyecto por los diseñadores responsables del mismo y las visitas a la oficina de diseño por los ingenieros de campo, hacen que esa estrecha cooperación se convierta en realidad, proporcionan una absoluta comprensión de los problemas de diseño y construcción y hacen posible la máxima eficiencia.

A pesar de lo cuidadosamente que se haya preparado un proyecto, pueden necesitarse cambios durante la construcción. Esos cambios pueden ser consecuencia de condiciones subsuperficiales que se desconocían o de requerimientos diferentes que resulten de cambios de varias clases en las condiciones existentes. Aun los mejores planes están sujetos a cambio, los constructores y diseñadores tienen que estar preparados para efectuarlos.

Hay otro problema de gran significación que puede ocurrir durante el desarrollo. A medida que se terminan las características principales, pero que no se utilizan o se utilizan parcialmente, se presenta la necesidad de obtener personal, materiales y equipo para asegurar la conservación de esas estructuras, y si es necesario para hacerlas funcionar y conservarlas a fin de que puedan seguir usándose. Se reconoce esta necesidad desde la planeación del proyecto, pero se hacen responsables de ella a los grupos de construcción o funcionamiento y no debe descuidarse. Los proyectos de riego en gran escala a menudo se desarrollan por bloques o unidades de tierra que pueden prolongar la construcción a periodos de tiempo hasta de 10 ó 20 años.

A medida que el agua queda disponible para riegos se presenta un nuevo problema en el cuadro del desarrollo, o sea el establecimiento de los agricultores en las nuevas unidades de granja.

A veces los agricultores no están familiarizados con los problemas relacionados con la labranza de riegos, la necesidad de la preparación de las tierras para recibir aguas de riego y la aplicación controlada del agua para obtener los mejores resultados. Pueden necesitar ayu-

da, que pueden obtener de las agencias del condado, estatales o federales en varias formas. Cuando se ha planeado debidamente un proyecto de riegos en gran escala y se han dado a los agricultores las instrucciones y ayuda necesarias, el proyecto continuará avanzando y beneficiará al propietario individual, así como al Estado y a la nación.

JOHN R. RITER *es ingeniero en jefe de desarrollos en la Oficina de Recuperación del Departamento del Interior.*

CHARLES LEMOYNE, JR., *es ingeniero de la División de Investigaciones de Proyectos de la Oficina de Recuperación del Departamento del Interior.*

El agua está donde la encuentra el que riega

William P. Law, Jr. y George M. Renfro, Jr.

EL AGUA DE RIEGO en la parte este de los Estados Unidos de Norteamérica procede de tres fuentes generales: Las corrientes perennes; los estanques, presas y lagos, y el agua del suelo. Casi siempre cada una de esas fuentes se desarrolla en la granja misma. En el Este existen muy pocas empresas organizadas de riego, porque las demandas de agua de riego no han sido lo suficientemente fuertes y pocos estados del Este cuentan con legislaciones para la creación de distritos de riego y empresas semejantes.

Muchos agricultores, sin embargo, desearían regar sus tierras, pero carecen de suministros de agua que puedan desarrollarse en sus propias granjas. Han aumentado los riegos en las áreas húmedas, aunque el promedio de lluvias es de 20 a 30 pulgadas durante la estación de crecimiento, lo que constituye una cantidad suficiente de agua para hacer pensar que la necesidad de riegos no debe ser excesiva; pero esas lluvias no se distribuyen uniformemente, y a menudo son excesivas en alguna temporada durante la estación de crecimiento y muy escasas en otros periodos. Para obtener agua para riegos durante esos periodos de sequía, algunos agricultores necesitan desarrollar fuentes adicionales de ella.

LA UTILIZACIÓN DE CORRIENTES constantes durante todo el año, que ordinariamente son ríos o algunos de los arroyos más grandes, se limita a las granjas, y sólo a un pequeño porcentaje de ellas a lo largo de sus riberas, debido a la doctrina de derechos ribereños que existe en la mayoría de los estados de las áreas húmedas. Esas corrientes dependen de las lluvias y por regla general sus proporciones de flujo varían grandemente durante el año. El flujo de los arroyos más pequeños es generalmente más bajo durante los largos periodos de sequía, cuando las necesidades de agua son mayores.

Una corriente perenne es una fuente segura sólo mientras la superficie que se riegue no necesite más agua que la que esa corriente puede proporcionar durante los periodos más prolongados de sequía. Cuando la superficie que va a regarse necesita más agua que la que puede suministrar el flujo de tiempo de sequía, el agua de la corriente debe almacenarse para asegurar un suministro adecuado. Las corrientes intermitentes no son seguras, a menos que puedan almacenarse sus aguas.

La proporción de flujo seguro requerido cuando se riega directamente de una corriente depende de la extensión de la superficie regada, de los requerimientos de humedad de las cosechas durante los periodos de máxima utilización, de la eficiencia del sistema de distribución en la granja y del tiempo necesario para terminar un riego.

Los riegos en las áreas húmedas se hacen en gran parte por aspersión. Casi todos los agricultores prefieren regar durante el día y, por lo tanto, no utilizan el flujo de las corrientes durante la noche, lo que hace necesario un mayor flujo para el riego de una superficie dada que si ese riego se hiciera en forma continua.

Por ejemplo, si un agricultor quiere aplicar 2.4 pulgadas de agua en una área durante 6 días regando 12 horas diarias, necesitaría por lo menos 15 galones

por minuto por cada acre regado. Si se aplicara la misma capa de agua en igual número de días regando 24 horas diarias, la proporción mínima de flujo requerido sería solamente de 7.5 galones por minuto, y si el agricultor quisiera completar un riego en 3 días en vez de 6, la proporción mínima de flujo tendría que ser de 30 galones por minuto.

A veces un agricultor puede almacenar el flujo durante la noche dentro de los bordos de una corriente, utilizando una represa baja dotada de vertederos u otros medios de control. En otras puede desviar durante la noche el flujo a través de un tubo o zanja abierta a un pequeño depósito o cuenca excavados cerca de la corriente, pudiendo utilizar en esa forma todo el flujo de la corriente.

UN AGRICULTOR NECESITA conocer el flujo de tiempo de sequía de una corriente antes de planear sus riegos.

Primeramente debe averiguar si la corriente ha sido medida por la Inspección Geológica o alguna otra agencia federal o estatal. Si no lo ha sido, tendrá que medir el flujo de la corriente durante un largo periodo de sequía. Hay varias maneras de hacerlo y su elección depende del tamaño de la corriente.

El sistema de riego empleado influye ordinariamente en el método empleado para llevar el agua desde la corriente hasta los campos. Si se emplea el sistema de aspersión, el agua se lleva a los campos por medio de tuberías y baja presión. La presión se obtiene por medio de una bomba colocada en el bordo de la corriente. En aquellos lugares donde se usan sistemas superficiales o subsuperficiales, el agua se bombea generalmente a zanjas abiertas, y de ellas se lleva por gravedad a los campos que hay que regar.

La calidad del agua de las corrientes en las áreas húmedas es generalmente satisfactoria para fines de riego. Sin embargo, a veces las corrientes en las localidades industriales pueden contaminarse con desechos industriales a grado tal que resulten perjudiciales para el crecimiento de las plantas. Si existe alguna duda sobre la pureza del agua para fines de riego, deben tomarse muestras a intervalos de tiempo y analizarse en un laboratorio. Los representantes locales de las agencias agrícolas pueden informar al agricultor sobre esos servicios de laboratorio.

Las desembocaduras de las corrientes a lo largo de las costas del Atlántico y del Golfo quedan influenciadas por las fluctuaciones de las mareas, y a menudo contienen cantidades excesivas de sales perjudiciales que las hacen inadecuadas para los riegos. En las corrientes pequeñas pueden instalarse compuertas automáticas de marea. Esas compuertas se abren para permitir el flujo del agua dulce durante las mareas bajas y se cierran para impedir el paso del agua del mar durante las mareas altas. Algunos agricultores usan las corrientes de las mareas para riegos solamente en los periodos de marea dulce cuando hay agua dulce en ellas. En cualquier caso, las corrientes de las mareas sólo deben usarse para riegos después de que se haya comprobado por medio de análisis químicos que sus aguas son apropiadas para ese objeto.

Los derechos de un agricultor para utilizar el agua de las corrientes en las áreas húmedas quedan regidos por la doctrina ribereña. Bajo las disposiciones del derecho común, un propietario de tierras a lo largo de una corriente tenía derecho al flujo de esa corriente en sus tierras sin disminución de cantidad ni calidad, con la sola excepción de la utilización para usos domésticos por los propietarios ribereños corriente arriba.

Bajo la doctrina modificada de derechos ribereños que ahora prevalece en algunos de los estados del Este, se establece que el derecho ribereño incluye el derecho a usar el agua para riegos, entre otros fines, y que ese uso es un derecho de propiedad que tiene la misma protección que ampara a otros derechos de propiedad.

LOS ESTANQUES O DEPÓSITOS de almacenamiento constituyen una fuente de aguas de riego cada vez más importante. Ordinariamente son del tipo de represa y se construyen levantando una represa de tierra a través de una corriente intermitente o alimentada por manantiales. El agua se almacena de la procedente de áreas de desagüe de 50 a 2,000 acres. Las

represas tienen una altura de 10 a 30 pies, y los depósitos contienen de 10 a 300 pies-acre. Los depósitos se construyen tan cerca de los campos de regadío como sea posible.

La superficie de las cosechas que puedan regarse con un estanque de granja tienen que limitarse a la superficie para la que hay agua disponible durante la estación de crecimiento. La capacidad debe ser adecuada para llenar las necesidades de la cosecha cubriendo las pérdidas de agua que sean inevitables, debiendo dejarse tolerancias para los flujos esperados durante el periodo de crecimiento.

La capacidad de almacenamiento necesaria en un estanque de granja que se use para riegos puede determinarse después de considerar los máximos requisitos estacionales de las cosechas que vayan a regarse; la precipitación real esperada durante la estación de crecimiento; la eficiencia de aplicación del método de riego; las pérdidas inevitables debidas a filtraciones y evaporaciones, y el volumen del flujo en tiempo de sequía.

Los requerimientos estacionales de agua de las cosechas pueden obtenerse de los resultados de los estudios efectuados en las estaciones experimentales o calcularse por medio de datos climatológicos. La precipitación real que puede esperarse durante la estación de crecimiento sólo puede calcularse mediante un estudio de los registros de lluvias durante un largo periodo de tiempo. Las lluvias durante la estación de crecimiento en las áreas húmedas varían grandemente y sólo pueden considerarse seguras las lluvias habidas durante la estación más seca precedente. No deben tomarse en consideración las lluvias menores de un cuarto de pulgada en cualquier día, porque esa ligera precipitación ordinariamente se evapora del follaje de las plantas y de la superficie del suelo, sin que las raíces puedan aprovecharla. Deben también concederse tolerancias para el agua de lluvia que se pierde debido al desbordamiento y a la filtración profunda. Los requerimientos mínimos estacionales de cualquier cosecha se calculan sustrayendo la precipitación real esperada durante la estación de crecimiento de los requerimientos estacionales de agua, o consumo de cualquier cosecha dada.

No toda el agua almacenada en un estanque de granja puede quedar disponible para las raíces de las plantas. Ningún método de riego tiene una eficiencia de 100%. El sistema de aspersión, por ejemplo, tiene una pérdida aproximada de 30% del agua, debido a la evaporación de los rocíos, la evaporación del follaje, la distribución desigual del agua y la filtración profunda. Sin embargo, las pérdidas debidas a la filtración profunda pueden disminuirse si el sistema se hace funcionar de modo eficiente.

La cantidad de agua que puede perderse por evaporación puede calcularse con el estudio de los registros de evaporación locales de la Oficina Climatológica.

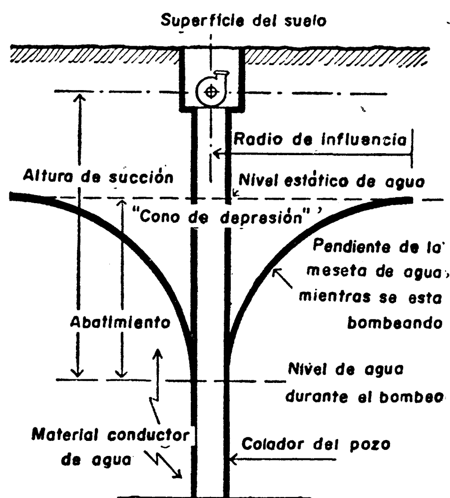
La cantidad de agua perdida por infiltración depende de la permeabilidad de los materiales de bordos, las condiciones de los cimientos y los métodos de construcción. Las pérdidas de infiltración deben ser ordinariamente menores de 3 pulgadas al mes en un bordo construido debidamente y con buenos cimientos.

La capacidad total de almacenamiento de un estanque o depósito granja puede calcularse sumando todas las posibles pérdidas que hemos mencionado a los requerimientos estacionales del agua de riego.

Uno de los problemas de diseño que se presentan en la planeación de tanques y depósitos para riego es la hidrología del área de desagüe o cuenca de recolección. Para cerciorarse de que el agua se repondrá con la frecuencia suficiente, por lo menos una vez al año y de preferencia dos veces, el área de desagüe debe ser bastante grande en relación con la capacidad del estanque. En consecuencia, puede esperarse una proporción de desbordamiento relativamente alta como consecuencia de las tormentas poco frecuentes de gran intensidad. A excepción de las pequeñas vertientes hidráulicas, a menudo esa proporción de desbordamiento es mayor que la que puede aceptar sin

riesgo un vertedero de tierra cubierto de hierba, empleándose entonces un vertedero estructural. Los vertederos de descarga inferior son más comunes, pero con frecuencia se usa ese tipo conjuntamente con caídas en declive.

Es ya práctica aceptada la construcción de vertederos estructurales con una capacidad que, combinada con los efectos de almacenamiento temporal del depósito, acepten sin riesgo el desbordamiento producido por las mayores tormentas que pueden ocurrir una vez en 25 años. Como protección contra las inundaciones se construye un vertedero de tierra cubierto de hierba para aceptar tormentas mayores que las del ciclo de 25 años. Como cada pie-acre de la capacidad del depósito que se utiliza para almacenamiento temporal disminuye la capacidad de almacenamiento de agua de riego, el almacenamiento temporal en depósitos usados para fines de riego es ordinariamente relativamente pequeño en relación con el volumen total de desbordamiento que resulta del ciclo de las tormentas. Por lo tanto, es necesario proporcionar vertederos estructurales de gran capacidad que a menudo tienen un costo considerable y a veces esos vertederos cuestan tanto como toda la represa.



HIDRAULICA DE LOS POZOS

Para disminuir la sedimentación que puede aminorar la capacidad de almacenamiento de un estanque en corto tiempo, es aconsejable localizar los sitios de los estanques dentro de vertientes hidráulicas que estén protegidas con vegetación y que contengan un mínimo de áreas cultivadas. Si esto no es posible, deben establecerse buenas prácticas de conservación dentro de la vertiente antes de que se construya el estanque o depósito.

Las causas más comunes de las fallas de las represas de tierra usadas para almacenar aguas de riego, se deben al desbordamiento producido por la capacidad insuficiente de los vertederos; a la filtración a través de la represa o los cimientos, y a debilidades en el diseño de los conductos de salida. Todas ellas pueden solucionarse mediante investigaciones adecuadas y diseños apropiados que se adhieran a las especificaciones y métodos de construcción prescritos.

Los costos de almacenamiento de agua en los estanques o depósitos de granja se rigen principalmente por la topografía del sitio; pero quedan influenciados a menudo por las condiciones de los cimientos, la clase de los materiales de los bordos y la necesidad de desagües en la parte inferior. Una compilación de los costos de cierto número de depósitos en el Sudeste, indica que el costo de almacenamiento de un pie-acre de agua puede ser, aproximadamente, de 70 a 120 dólares.

Los lagos naturales no se usan extensamente como fuentes de aguas de riego en las áreas húmedas, a excepción de Florida, en donde se utilizan muchos lagos para el riego de cosechas cítricas y en ocasiones para el de legumbres. Ordinariamente los lagos suministran agua de buena calidad.

A menudo su capacidad restringe la superficie que puede regarse. Muchos de los mismos problemas relacionados con la utilización de los depósitos de granja ocurren también en los lagos.

Generalmente el agua del suelo es una fuente más confiable de aguas

NUMERO DE ESTACIONES ACTIVAS DE DESCARGA AL 30 DE JUNIO DE 1955

para riego que las fuentes superficiales, y está exenta de semillas de hierbas y organismos de plantas. Generalmente pueden localizarse los pozos cerca del centro de las áreas de riego para mayor conveniencia y economía en el bombeo.

Los costos iniciales de perforación de pozos e instalación de equipos de bombeo ordinariamente son mayores que los costos de utilización de las aguas superficiales, y a menudo las succiones de bombeo son mayores. Existe el peligro de que los agricultores, las municipalidades y las industrias hagan un consumo excesivo que agote las capas productoras de agua.

La mejor fuente de información sobre la disponibilidad del agua del suelo es ordinariamente el geólogo de cada Estado. Los perforadores locales de pozos pueden suministrar también gran cantidad de datos útiles.

Las capas productoras de agua o acuíferos, varían grandemente. Sin duda la grava gruesa libre de tierra es el mejor acuífero, pero esas formaciones son raras. Generalmente las formaciones de grava se encuentran mezcladas con arenas, cienos o arcillas. Se encuentran capas de grava bajo la parte oriental de los Estados Unidos de Norteamérica en forma de deslizamientos glaciales enterrados y como mantos enterrados de meandros de ríos antiguos.

Las formaciones de caliza cavernosa a menudo producen grandes flujos; pero las oportunidades de obtener buenos flujos son escasas, porque frecuentemente la piedra caliza es sólida e impermeable.

Las arenas finas y algunas piedras areniscas generalmente producen flujos satisfactorios. Los esquistos, arcillas, piedras areniscas cementadas con arcilla y rocas de baja permeabilidad producen flujos pequeños. Si tienen extensas fracturas, las formaciones de rocas impermeables rinden a menudo flujos apreciables, pero con frecuencia no pueden sostenerse para llenar las necesidades de riego debido a su limitado almacenamiento en las rocas.

El tipo de pozo dependerá generalmente del equipo disponible en la localidad, y esto a su vez se determina por las condiciones geológicas locales.

Los pozos perforados a mano que antes eran comunes se han abandonado casi por completo, debido al costo de la mano de obra y a las dificultades para alcanzar las profundidades necesarias. En algunos lugares donde la meseta de agua se encuentra cerca de la superficie, se perforan pozos cilíndricos con equipo mecánico tales como barrenas de tipo de "ostra" o de "gajos".

Las hondonadas o estanques excavados son un tipo de pozo excavado que proporcionan una capacidad de almacenamiento considerable. Ordinariamente son rectangulares y de un décimo a un cuarto de acre, y se perforan en capas conductoras de agua a profundidades de 10 a 20 pies. No son siempre confiables, porque puede bajar el nivel de agua de las capas superficiales durante los periodos de sequía, pero a veces suministran agua a un costo unitario menor que los estanques de tipo de represa. A veces puede aumentarse el agua de esas hondonadas recargándolas con agua limpia procedente de los desagües o con el agua de pozos pequeños y más profundos.

En los pozos radiales, otra variación de los pozos perforados, se instalan tubos colectores en sentido horizontal en el fondo de los pozos excavados. En las capas superficiales productoras de agua a veces causan grandes flujos, pero son costosos y pueden desaguar las capas en proporción excesiva.

Los pozos horadados se emplean comúnmente para obtener pequeños flujos de agua de formaciones que permiten esa horadación. Consisten de un tubo que tiene una punta y un colador en su extremo inferior. Ordinariamente se considera terminado el pozo cuando queda en su sitio, pero su desarrollo por medio de bombeo o de impulsos resulta generalmente en la obtención de flujos mayores.

Los pozos horadados rara vez producen 50 galones por minuto; pero a menudo se pueden obtener flujos considerables conectando varios de esos pozos, llamados baterías de pozos, al tubo de suc-

ción de una bomba común o tubo múltiple. Para evitar la interferencia excesiva entre esos pozos, tienen que estar debidamente espaciados y en línea perpendicular a la sección del flujo subterráneo, si puede determinarse.

Los pozos horizontales, una variante de los radiales, consisten de coladores y tubos de recolección instalados horizontalmente o casi horizontalmente, y a veces se construyen bajo las corrientes o en trincheras debajo de corrientes subterráneas poco profundas, cubriéndose después.

Los pozos barrenados que se hacen por medio de barrenas casi no se usan debido a su aplicación limitada. Es muy difícil el empleo de barrenas en formaciones que requieren tubería de forro, y deben emplearse otros medios para continuar la perforación cuando se ha llegado a materiales sueltos conductores de agua.

Los pozos perforados son el tipo más común de pozos de riego modernos. La perforación puede hacerse con herramientas de percusión, conocidas también como herramientas de cable, con barrenas rotatorias llamadas herramientas rotatorias y por medio de chorros de agua que emplean también una barrena sencilla. En la perforación con herramientas de cable el material se afloja por el impacto de la barrena, se mezcla con el agua en la perforación y se remueve por medio de una cubeta larga y delgada que tiene una válvula en su fondo. En la perforación rotatoria y en la que se emplean chorros de agua, el material suelto se fuerza a la superficie por medio del agua que se bombea hacia abajo a través del tubo de perforación, con presión suficiente para subir el material.

Ordinariamente, un pozo debe desarrollarse después de que se ha perforado para obtener el flujo máximo, especialmente cuando se ha hecho en formaciones que contienen arena, cieno o arcilla. El desarrollo consiste en la remoción de las partículas de arena, cieno o arcilla, y en el reacomodo del material que queda alrededor del colador del pozo, por medio de impulsos, flujos inversos o un bombeo violento con rápidos arranques y paradas.

Si no hay suficiente grava en el acuífero, esa grava se puede colocar artificialmente alrededor del colador del pozo para ayudar en su desarrollo. A veces se emplea el desarrollo por medio de explosivos en formaciones de roca o piedra caliza, pero hay el riesgo de dañar el pozo y de perder las herramientas de cable. Se ha bombeado ácido muriático en pozos hechos en formaciones calcáreas para agrandar las aberturas y aumentar el flujo.

LAS PRUEBAS DE BOMBEO sostenido para determinar el rendimiento de un pozo después de varios días de funcionamiento son necesarias para establecer su verdadera capacidad y confiabilidad. No deben instalarse costosas unidades de bombeo hasta que se haya precisado el rendimiento bajo un bombeo sostenido.

Si los flujos económicamente obtenibles son demasiado pequeños para regar directamente el pozo, pueden usarse con ventaja depósitos superficiales, tales como hondonadas, estanques y zanjas. Si se bombea del pozo a un depósito por algún tiempo, el agua estará disponible en cantidad suficiente cuando se necesite para riegos. El funcionamiento continuo de la bomba del pozo repondrá el consumo hecho del depósito superficial entre riegos.

Durante un periodo de bombeo la meseta de agua baja temporalmente alrededor del pozo. Esto constituye el abatimiento y es necesario en todo pozo, a fin de establecer una pendiente o curva de presión que haga que el agua fluya dentro del pozo desde las capas que lo rodean. La cantidad de agua que puede bombearse de un pozo es aproximadamente proporcional al abatimiento dentro de ciertos límites, y esto explica la necesidad de que los pozos tengan la profundidad necesaria. El radio de influencia de un pozo aumenta con el abatimiento y con la permeabilidad del acuífero. En los pozos perforados en arenas finas ese radio de influencia puede ser menor de 100 pies, y en los perforados en acuíferos de grava gruesa puede extenderse hasta 2,000 ó 3,000 pies.

Cuando se construyen dos pozos más

cerca uno del otro que el doble de su radio de influencia, disminuirá ligeramente el flujo de cada uno, dependiendo de la cantidad de recubrimiento de su radio de influencia. Esto ayuda a explicar por qué el duplicar el tamaño de un pozo (que equivale a hacer dos pozos en la misma perforación) no duplica el rendimiento. Generalmente se obtiene un pequeño aumento en rendimiento, ordinariamente de 5 a 20%, cuando se duplica el diámetro de un pozo, porque se mejoran las condiciones de cribado. Pueden obtenerse mayores aumentos de flujo con un espaciamiento adecuado de los pozos. Por ejemplo, dos pozos espaciados a una distancia de un cuarto de su radio de influencia, suministrarán aproximadamente 75% más agua que cualquiera de ellos aisladamente, y con un espaciamiento del doble de su radio de influencia, el aumento será de 100%.

El bombeo de los pozos se efectúa generalmente con bombas de turbina. Las bombas centrífugas cuestan menos que las de turbina de igual capacidad y pueden usarse si la meseta de agua está próxima a la superficie y el abatimiento no es considerable. La máxima altura de bombeo de cualquier bomba es de 22 pies al nivel del mar o de 17 pies a 5,000 pies de altura, pero debe mantenerse bajo esos límites para el mejor funcionamiento y eficiencia del bombeo. El límite de succión es la razón que hay para que a veces se instalen las bombas centrífugas en excavaciones en la parte superior de los pozos.

La altura de bombeo no es un problema con bombas de turbina, porque la parte de la bomba que hace el trabajo se instala tan cerca del fondo del pozo como sea necesario. La bomba funciona por medio de un eje vertical de mando, que se mueve con un motor eléctrico o de combustión interna, o con un motor eléctrico sumergido acoplado a la misma bomba. El diámetro del pozo debe ser lo suficientemente grande para permitir la instalación de una bomba de tamaño adecuado.

En la mitad oriental de los Estados Unidos de Norteamérica hay grandes problemas con el agua del suelo. La meseta de agua ha descendido considerablemente en la vecindad de muchos centros industriales, y ese descenso de la meseta de agua, o cono de depresión, se extiende en un radio de 30 millas o más alrededor de algunas ciudades, haciendo necesario el incremento de la profundidad de los pozos.

La razón de esto es que el depósito subterráneo no constituye un cuerpo continuo e ilimitado de agua que se mueva libremente. El agua se pierde continuamente desde las capas subterráneas debido al flujo natural hacia el exterior y a la filtración, y sólo se reemplaza naturalmente con el agua que se filtra hacia abajo desde las corrientes superficiales, bosques y campos. En años anteriores existía una situación de equilibrio aproximado, ya que la reposición de la meseta de agua igualaba a las pérdidas; pero esa proporción de reposición ha disminuido con la apertura de nuevas tierras, los desagües, el pastado y los cultivos, y la proporción de consumo ha aumentado en muchos sitios debido a los fuertes bombeos de los pozos. Siempre que se bombea agua de una área más rápidamente de lo que puede reponerse desde las áreas circunvecinas, el nivel de agua tiene que bajar.

Hay dos posibles soluciones al problema del descenso de las mesetas de agua: Reducir considerablemente las proporciones de bombeo de los pozos, o aumentar en forma suficiente la proporción de reposición del agua del suelo por medio de la recarga artificial con el agua superficial sobrante. La primera no es una solución popular o deseable, aunque es inevitable si no se da atención a la segunda.

Se practica ya la recuperación artificial, pero no en escala suficiente para satisfacer nuestras crecientes necesidades. Algunos de los métodos usados son la dispersión de agua, los suministros de agua en pozos abandonados, tiros de minas y hondonadas abiertas, y el flujo de agua bajo presión de las tuberías de las ciudades dentro de los pozos activos.

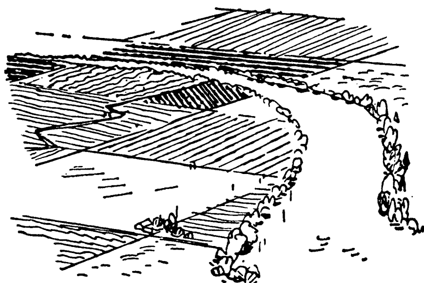
Otras dos posibles fuentes de agua

de riego son los sistemas de agua de las ciudades y las aguas de los mares. El agua de los sistemas de la ciudades, aunque ordinariamente demasiado costosa e inaccesible para uso general en granjas, se ha empleado en algunas pequeñas superficies que contienen cosechas de gran valor cerca de algún poblado. A razón de 10 centavos por 1,000 galones, el costo del agua sería aproximadamente de 2.80 dólares por pulgada por acre, pero se evitarían los costos de bombeo. El empleo de aguas desalinizadas de los mares para riegos, constituye una posibilidad que todavía se encuentra en el futuro.

WILLIAM P. LAW, JR., *es ingeniero agrícola asociado encargado de las investigaciones en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Estación Agrícola Experimental de South Carolina en el Colegio de Clemson, South Carolina.*

GEORGE M. RENFRO, JR., *es ingeniero de riego encargado de las fases técnicas del programa de riego del Servicio de Conservación de Tierras en nueve estados del Sudeste, Puerto Rico y las Islas Vírgenes.*

El agua y nuestras cosechas



El clima como índice de las necesidades de riego

Harry F. Blaney

UNA GRAN PARTE del agua de riego que se aplica a las granjas se pierde por evaporación y transpiración. En las mediciones de campo es difícil separar la evaporación de la transpiración, y los dos procesos se consideran generalmente como uno solo y se les da el nombre de evapotranspiración o utilización de consumo.

Esa utilización de consumo incluye todas las pérdidas por transpiración y evaporación de las tierras en las que crece cualquier clase de vegetación más la evaporación de la tierra desnuda y de las superficies de agua, y es el mejor índice de las necesidades de riego. La necesidad de riego es la cantidad de agua que se necesita para la producción de cosechas, excluyendo la precipitación, e incluye la transpiración de las plantas, la evaporación, la filtración y otros desperdicios económicamente inevitables.

Las mediciones reales de la utilización de consumo bajo cada una de las condiciones físicas o climatológicas de cualquier área de gran extensión, son costosas y consumen mucho tiempo. Los resultados de las investigaciones y mediciones de la utilización de consumo del agua, conjuntamente con las observaciones meteorológicas, proporcionan datos básicos que son necesarios para calcular los requerimientos de agua de las tierras de riego sobre las que, con excepción de los datos climatológicos, puede haber muy pocos o ningunos datos de otra clase.

Muchos factores operan separada o conjuntamente para influenciar la cantidad de agua consumida por las plantas. Sus efectos no son necesariamente constantes, pero pueden diferir con la localidad y flucturar de año en año. Algunos de ellos implican el factor humano y otros se relacionan con las influencias naturales, clima, suministro de agua, tierras y topografía.

La lluvia que cae en cantidades suficientes durante la estación de crecimiento, puede disminuir los requerimientos de riego. Los ligeros aguaceros de verano de menos de 0.5 de pulgada pueden añadir muy poco o casi nada a la humedad de la tierra para la transpiración de las plantas, y se perderán por evaporación. Una gran parte de las intensas tormentas se perderá por desbordamiento superficial, y la precipitación de invierno y primavera puede almacenar humedad en la tierra en forma suficiente para cubrir los requerimientos de las cosechas durante los principios de la estación de crecimiento.

La temperatura determina en gran parte los tipos de cosechas que son más adecuados para una producción provechosa. Probablemente la temperatura influencia la proporción de utilización del agua por las cosechas en cualquier localidad determinada más que ningún otro factor. Las temperaturas anormalmente bajas pueden retrasar el crecimiento de

las plantas, y las extraordinariamente altas pueden producir una situación no vegetativa o de reposo. La utilización de consumo puede variar grandemente aun en años de temperaturas acumuladas iguales a causa de la desviación de la distribución normal y estacional, ya que la transpiración queda influenciada no sólo por la temperatura, sino también por el área de la superficie del follaje y las necesidades fisiológicas de las plantas, estando relacionados ambos factores con el estado de madurez.

La evaporación y la transpiración se aceleran en los días de baja humedad y se hacen más lentas durante los periodos de humedad abundante. Si el porcentaje del promedio de humedad relativa es bajo durante la estación de crecimiento, puede esperarse que la vegetación haga un mayor consumo de agua.

La evaporación del agua de la tierra y de las superficies de las plantas ocurre mucho más rápidamente cuando el aire está en movimiento que cuando está en calma. Los vientos calientes y secos y otras condiciones extraordinarias de ellos durante el periodo de crecimiento afectan la cantidad de agua utilizada.

La estación de crecimiento, que está sujeta muy estrechamente a la temperatura, tiene un gran efecto en las necesidades estacionales de agua de riego de las plantas. Se considera frecuentemente que es el periodo comprendido entre las heladas destructoras; pero es más corto que el periodo exento de heladas para muchas cosechas anuales, porque ordinariamente se siembran después de que han pasado las heladas y se maduran antes de que ocurran de nuevo.

Aunque puede emplearse la estación de crecimiento como una guía para calcular la utilización de consumo y los requerimientos de riego, los datos precisos sobre las fechas de siembra y recolección de las cosechas son de gran importancia, así como las fechas normales anuales de los primeros riegos y de los últimos para determinar las necesidades de consumo de agua de riego de las cosechas. El periodo normal de la estación de crecimiento varía desde poco menos de 90 días en los altos valles montañosos de Colorado a más de 360 días en la costa sur de California.

Es difícil considerar la latitud como un factor climatológico, pero tiene gran influencia en la proporción de la utilización de consumo de agua por las diversas plantas. Debido al movimiento de la Tierra y a su inclinación sobre su eje, las horas de luz durante el verano son mucho más prolongadas en las latitudes septentrionales que en el ecuador. Los días más largos pueden hacer que la transpiración de las plantas continúe durante un periodo diario más prolongado y producen un efecto semejante al de alargar la estación de crecimiento.

Los suministros de agua disponibles en una área influencian el tipo de cosechas que se cultiven y, por lo tanto, las necesidades de riego. En el Oeste árido y semiárido donde la fuente principal de agua es el riego, la utilización de consumo afectará ordinariamente tanto la cantidad como la distribución estacional del suministro de agua disponible. Si hay agua en abundancia, los agricultores tienden a regar en exceso, tanto en frecuencia como en profundidad de aplicaciones. Si la superficie de la tierra se humedece frecuentemente y si la evaporación resultante es alta, es muy probable que aumente la utilización de consumo.

En algunos lugares la calidad del agua afecta también las necesidades de riego, pudiendo necesitarse hasta un 20% más de agua para controlar la acumulación de sales en la tierra.

Se han empleado varios métodos para determinar la cantidad de agua consumida por las cosechas agrícolas y la vegetación nativa. La fuente de agua utilizada para la vida de las plantas influencia la selección de un método, ya sea la sola precipitación, el riego juntamente con las lluvias, el agua del suelo más la precipitación o el riego más el agua del suelo y las lluvias.

Pueden determinarse valores unitarios de la utilización de consumo para diferentes clases de vegetación nativa y de cosechas agrícolas mediante estudios de la humedad de la tierra, mediciones con lisímetros o depósitos, análisis de datos

de riego, análisis de datos climatológicos y otros métodos. Para las cosechas de riego pueden usarse datos sobre la profundidad del agua de riego, número de riegos al año, eficiencia de los mismos, capacidad de retención de agua de la tierra (capacidad de campo), etc., a fin de calcular los valores unitarios de la utilización de consumo. Los valores unitarios observados en una área pueden usarse para así calcular la utilización de consumo en otras áreas que tengan condiciones climatológicas más o menos semejantes, si hay disponibles registros de temperatura y precipitación para ambas áreas.

DESDE HACE MUCHOS AÑOS los ingenieros de riego han calculado la utilización de consumo del agua por medio de datos climatológicos y otros disponibles. C. R. Heske desarrolló el método de calor efectivo para el Valle del Río Grande en 1924. Robert L. Lowry y Arthur F. Johnson analizaron en 1940 los datos de la utilización de consumo de los valles de riego y vertientes hidráulicas húmedas con grandes diferencias de clima, latitud, altura y tipo de cosechas, y encontraron una relación rectilínea entre la utilización de consumo anual y el suministro de calor expresado en términos de la máxima acumulación de temperaturas diarias superiores a 32° F. durante la estación de crecimiento.

Los técnicos han desarrollado métodos para predecir la evapotranspiración por medio de datos climatológicos. C. W. Thornthwaite preparó en 1948 un procedimiento para determinar el potencial de evapotranspiración por medio de los elementos atmosféricos. En la Estación Experimental de Rothamsted, en Inglaterra, H. L. Penman y R. K. Schofield, correlacionaron la evaporación de superficies descubiertas de agua y la evapotranspiración de las hierbas con las observaciones meteorológicas, y encontraron un índice para calcular la evapotranspiración.

Los estudios efectuados por Karl V. Morin y yo en 1941-42, relacionados con las Investigaciones Conjuntas del Río Pecos de la Junta de Planeación de Recursos Nacionales, indicaron que podían usarse los datos de evaporación, evapotranspiración, promedio mensual de temperatura, porcentaje mensual de horas de luz, estación de crecimiento, precipitación mensual y eficiencia de riegos, para calcular las necesidades de riego. Por medio de los registros de temperatura, horas de luz y humedad, determinamos fórmulas para calcular las proporciones de evaporación y utilización de consumo. Como en 1945 los registros de humedad no eran fácilmente accesibles, Wayne D. Criddle y yo simplificamos una de las fórmulas del río Pecos para eliminar el factor de humedad.

EMPLEANDO LA FÓRMULA Blaney-Criddle, el procedimiento consiste en correlacionar los datos existentes de utilización de consumo para las diferentes cosechas con los de temperatura mensual, porcentaje de horas de luz, precipitación, periodo exento de heladas (o de crecimiento o estación de riego. Los coeficientes obtenidos en esa forma se emplean para transportar los datos de utilización de consumo de un área dada a otras áreas en donde sólo existen datos climatológicos.

Como ya dije antes, hay diversos factores variables, independientes y relacionados, que afectan la utilización de consumo. De los factores climatológicos que afectan el crecimiento de las plantas, indudablemente la temperatura y la precipitación son los que ejercen mayor influencia. Además, los registros de temperatura y precipitación están más fácilmente disponibles en todos los estados del Oeste que los datos correspondientes a los demás factores. Las horas reales de luz tienen también parte importante en la proporción en que las plantas crecen y consumen agua, pero generalmente los registros de luz no están disponibles. Sin embargo, pueden obtenerse las horas teóricas de luz para cada día en todas las latitudes y pueden emplearse en vez de los datos reales.

Esos datos teóricos pueden dar lugar a errores en áreas de fuertes nieblas o tiempo tempestuoso durante gran parte del

Porcentaje de horas de luz para cada mes del año entre los 24° y 50° de latitud Norte [1]

Mes	% 24°	% 26°	% 28°	% 30°	% 32°	% 34°	% 36°	% 38°	% 40°	% 42°	% 44°	% 46°	% 48°	% 50°
Enero	7.58	7.49	7.40	7.30	7.20	7.10	6.99	6.87	6.76	6.62	6.49	6.33	6.17	5.98
Febrero	7.17	7.12	7.07	7.03	6.97	6.91	6.86	6.79	6.73	6.65	6.58	6.50	6.42	6.32
Marzo	8.40	8.40	8.39	8.38	8.37	8.36	8.35	8.34	8.33	8.31	8.30	8.29	8.27	8.25
Abril	8.60	8.64	8.68	8.72	8.75	8.80	8.85	8.90	8.95	9.00	9.05	9.12	9.18	9.25
Mayo	9.30	9.38	9.46	9.53	9.63	9.72	9.81	9.92	10.02	10.14	10.25	10.39	10.53	10.69
Junio	9.20	9.30	9.38	9.49	9.60	9.70	9.83	9.95	10.08	10.21	10.38	10.54	10.71	10.93
Julio	9.41	9.49	9.58	9.67	9.77	9.88	9.99	10.10	10.22	10.35	10.49	10.64	10.80	10.99
Agosto	9.05	9.10	9.16	9.22	9.28	9.33	9.40	9.47	9.54	9.62	9.70	9.79	9.89	10.00
Septiembre	8.31	8.31	8.32	8.34	8.34	8.36	8.36	8.38	8.38	8.40	8.41	8.42	8.44	8.44
Octubre	8.09	8.06	8.02	7.99	7.93	7.90	7.85	7.80	7.75	7.70	7.63	7.58	7.51	7.43
Noviembre	7.43	7.36	7.27	7.19	7.11	7.02	6.92	6.82	6.72	6.62	6.49	6.36	6.22	6.07
Diciembre	7.46	7.35	7.27	7.14	7.05	6.92	6.79	6.66	6.52	6.38	6.22	6.04	5.86	5.65

[1] Computado de "Tablas de Luz de Día", Boletín núm. 805 de la Oficina Climatológica de los Estados Unidos de Norteamérica, edición de 1925. Compendio del Boletín SCS-TP-96, *Determinación de los requerimientos de agua en áreas de riego por medio de datos climatológicos y de riego*, por Harry F. Blaney y Wayne D. Criddle (1950).

año; pero las temperaturas tienden a corregir esa situación, pudiendo usarse también como factores de corrección los registros de humedad.

Sin tener en cuenta los factores que son imposibles de medir, la utilización de consumo varía con la temperatura, horas de luz y humedad disponible (precipitación, agua de riego o agua natural del suelo). Multiplicando el promedio mensual de temperatura (T) por el porcentaje mensual de horas de luz durante el año (p), se obtiene un factor mensual de utilización de consumo (f). Se supone que la utilización de consumo (u) varía directamente al igual que ese factor, cuando hay disponible un suministro normal de agua.

Expresado matemáticamente, esto es igual a Q = KF = suma de kf, en donde U es la utilización de consumo de la cosecha (o evapotranspiración) en pulgadas durante cualquier periodo; F es la suma del factor mensual de la utilización de consumo durante el periodo (suma de los productos de los promedios mensuales de temperatura y de los porcentajes mensuales de horas de luz durante el año); K es el coeficiente empírico (estación de riego o periodo de crecimiento); k es el coeficiente mensual, habiéndose ya descrito los demás términos. La tabla al final de este capítulo muestra el porcentaje mensual de horas de luz (p) entre los 24° y los 50° de latitud Norte.

El factor (F) para cualquier periodo puede computarse para las áreas en las que hay registros mensuales de temperatura disponibles. Entonces, si se conoce el coeficiente (K) de una cosecha determinada en cierta localidad, se puede calcular el consumo de agua de la misma en cualquier otra área aplicando la ecuación U = KF. Los cálculos de (K) hechos con los datos observados para suministros de agua y estaciones de crecimiento normales, dieron los siguientes valores para cosechas de riego en regiones áridas y semiáridas: Alfalfa, 0.85; maíz, 0.80; algodón, 0.65; hierba de heno y pastos, 0.75; árboles cítricos, 0.70; árboles decíduos, 0.70; papas, 0.75; arroz, 1.20, y legumbres, 0.60. Para áreas hú-

Cálculo de las proporciones de utilización de consumo para cosechas en el área de Montrose, Colorado

Cultivos	Estación de crecimiento	Factor de Utilización de consumo (F)	Coeficiente de Utili- de consumo zación (K)	Utilización de consumo (U)	U menos R:	
				Pulgadas	Pulgadas	Pies
Alfalfa	5/6–10/6	31.12	.85	26.45	21.73	1.81
Hierba para heno ..	5/6–10/6	31.12	.75	23.34	18.62	1.55
Maíz	5/6– 9/6	26.21	.75	19.66	16.02	1.33
Pequeñas gramíneas	5/6– 8/6	19.83	.75	14.87	12.51	1.04
Huertos	5/6–10/6	31.12	.65	20.23	15.51	1.29
Tierra filtrada	5/6–10/6	31.12	.80	24.90	20.18	1.68
Vegetación natural .	5/6–10/6	31.12	1.20	37.34	32.62	2.72

U = KF = utilización de consumo para estaciones de crecimiento o riego.
K = coeficiente empírico de utilización de consumo.
F = suma de los factores mensuales de utilización de consumo (f) durante la estación de crecimiento.
R = suma de la precipitación mensual en la estación de crecimiento.

Ilustración de los métodos empleados para calcular la cantidad normal estacional de agua de riego requerida a la entrada de una granja típica, Montrose, Colorado

Clasificación	Area	Utilización de consumo menos precipitación (U—R)	Eficiencia de riego de granja	Agua requerida a la entrada de la granja: Unidad	Total
	Acres	Pies-acre por acre	Porcentaje	Pies-acre por acre	Pies-acre
De riego:					
Alfalfa	35	1.81	60	3.02	105.7
Hierbas de heno ...	20	1.55	50	3.10	62.0
Maíz	10	1.33	55	2.42	24.2
Huertos	10	1.29	60	2.15	21.5
Misceláneos:					
Carreteras	3	0	—	——	0
Vegetación natural ..	1	2.72	—	2.72	2.7
Tierra filtrada	1	1.68	—	1.68	1.7
Suministro total de agua requerido a la entrada de la granja en una estación normal					217.8

medas esos valores deben disminuirse aproximadamente en un 10%.

La eficiencia de riego es el porcentaje del agua de riego que queda disponible para la utilización de consumo de las cosechas. Cuando se mide el agua suministrada a la entrada de una granja, se le llama eficiencia de riego de granja. Cuando se mide en el campo o parcela, puede designarse como eficiencia de riego de campo.

El requerimiento de consumo del agua de riego depende de la cantidad de agua consumida por las cosechas y también de la cantidad suministrada por la precipitación, los sobrantes de invierno de hume-

dad de la tierra y la contribución natural del agua del suelo. Puede determinarse la cantidad neta de agua de riego que debe proporcionarse para la utilización de consumo de la cosecha después de considerar cada uno de estos factores. Sin embargo, no es la cantidad de agua de riego requerida para una granja o aun para un campo, porque el agua no puede aplicarse sin ciertas pérdidas, independientemente del método que se use.

Generalmente no queda disponible más del 60% del agua que se entrega en la parte superior de una granja para la utilización de consumo de las cosechas. El resto se pierde en su trayecto al campo, en el campo mismo, debido a la filtración profunda, o en forma de desbordamiento superficial desde el mismo campo. Por lo tanto, las eficiencias de riego deben tomarse en consideración al calcular los requerimientos de agua de riego de una cosecha. Las eficiencias para diferentes condiciones de tierra y sistemas de distribución de agua varían de 40 a 70%

El agua de riego requerida para satisfacer la utilización de consumo de cada cosecha que se cultive o se vaya a cultivar en una granja, se obtiene sustrayendo la precipitación real de los requerimientos de consumo de agua durante la estación de crecimiento o de riego. Cuando se divide ese requerimiento neto de consumo (utilización de consumo menos precipitación) de la cosecha, entre la eficiencia de riego de granja, se obtiene la cantidad estacional de agua requerida en la entrada de la granja para cada acre de cosecha. La suma de los requerimientos de cada cosecha multiplicada por la superficie en acres, da la cantidad total de agua que debe entregarse a la entrada de la granja para la producción satisfactoria de las cosechas. A este total debe añadirse la cantidad de agua necesaria para las operaciones incidentales de la granja.

En las Tablas que se dan al final de este capítulo se encontrará el procedimiento y análisis de datos para calcular los requerimientos de riego para una granja típica en el área de Montrose, en Colorado.

HARRY F. BLANEY *es ingeniero de riegos de la Sección Occidental de Manejo de Tierras y Aguas de la Rama de Investigación de Conservación de Tierras y Aguas del Servicio de Investigación Agrícola, y está encargado de las investigaciones cooperativas sobre riegos y desagües en California, estando al servicio del Departamento de Agricultura desde 1937.*

El presupuesto hidráulico y su uso en los riegos

C. W. Thornthwaite y J. R. Mather

EL FIN DE LOS RIEGOS es contrarrestar la sequía cerciorándose de que las plantas no queden privadas de agua en cualquier tiempo durante su desarrollo. No es posible determinar el grado en que las lluvias dejan de suministrar el agua necesaria para las plantas sin conocer sus necesidades de agua. Por lo tanto, la determinación de las proporciones y cantidades de evaporación y transpiración de las superficies de la tierra bajo diferentes tipos de cobertura y en diferentes partes del país, ha constituido durante mucho tiempo un problema de gran importancia.

Los sabios han probado diversas formas de determinar la cantidad de agua que utilizan las plantas. Uno de esos intentos primitivos consistía en remover las hojas o ramas de una planta, dejarlas secar durante un breve periodo de tiempo y pesarlas para saber cuánta agua habían perdido. Otro método consiste en colocar las plantas en recipientes sellados y medir la humedad que se acumula en el aire confinado en ellos. Los experimentadores han cultivado en tiestos miles de plantas individuales, pesándolas periódicamente para determinar las pérdidas por evapotranspiración. Estos métodos son completamente artificiales y cualquier generación de ellos ha llevado a veces a obtener resultados erróneos. Por ejemplo, en un estudio hecho en Alemania se calculó que la transpiración de un bosque de robles era 8 veces mayor que el total de precipitación.

El único método desarrollado hasta ahora que mide la evapotranspiración de un campo o cualquiera otra superficie natural sin causar disturbios de ninguna clase a la cobertura vegetativa, es el llamado método de "transferencia de vapor". Cuando el vapor de agua entra a la atmósfera desde el suelo o desde las plantas, se eleva debido al movimiento del aire en pequeños torbellinos o volúmenes de aire que son reemplazados por otros torbellinos más secos en la parte superior.

No podemos ver el vapor de agua, pero podemos medirlo en el aire. Cuando ocurre la evaporación encontramos que la cantidad de humedad es mayor cerca del suelo y que decrece con la altura sobre él. Si determinamos la proporción en que el aire cercano al suelo se mezcla con el que queda arriba de él medimos al mismo tiempo la diferencia de contenido de vapor de agua de los dos niveles, podemos determinar tanto la proporción como la cantidad de evapotranspiración. Además, podemos determinar igualmente bien la cantidad de agua que se condensa en forma de rocío.

Este método no es fácil de comprender o de usar. Es difícil de usar porque requiere mediciones físicas más precisas de las que se hacen ordinariamente. Además, el coeficiente de transferencia turbulenta del aire varía de tiempo en tiempo y de un lugar a otro, variando hasta con la altura en un sitio y periodo de tiempo determinados. A pesar de esas dificultades, el método puede perfeccionarse y dará respuesta a muchos problemas importantes de climatología y biología.

Hay otras formas de determinar tanto la utilización como los requerimientos de agua. En algunas áreas de riego se miden tanto la lluvia como el agua aplicada por medio de riegos y el flujo del agua hacia el exterior. La fracción de agua aplicada que no se desborda, constituye la evapotranspiración. En unos cuantos lugares aislados, principalmente en el oeste de los Estados Unidos de Norteamérica, los ingenieros de riego han determinado la evapotranspiración de las plantas que crecen en tanques hundidos llenos de tierra hasta el nivel del suelo, en los que las mesetas de agua se conservan a diferentes profundidades predeterminadas debajo de la superficie del suelo.

Desde 1946 se ha dado mayor consideración al problema de medir la utilización de agua de las plantas bajo condiciones constantes de humedad óptima de la tierra, y se ha perfeccionado y normalizado un instrumento para ello. Consiste de un gran tanque de tierra construido en tal forma que las plantas pueden crecer en él bajo prácticamente las mismas condiciones de campo, y al que puede suministrarse agua conforme lo necesiten. Los tanques tienen una área de 4 metros cuadrados y contienen tierra a una profundidad aproximada de 70 centímetros. Hay manera de aplicar riegos subsuperficiales por medio de un tanque de suministro diseñado en tal forma que pueden medirse con toda precisión las cantidades reales de agua que se utilizan o pueden regarse por medio de rocíos desde arriba. Este último método ha resultado mucho más satisfactorio en la práctica. Cuando llueve, cualquier exceso de agua escurre a través de la tierra y se mide también, y en esa forma se mide cada uno de los términos de la ecuación hidrológica, a excepción de la evapotranspiración, y, por lo tanto, ésta puede medirse como una simple diferencia. Hay gran número de estos evapotranspirómetros funcionando en áreas muy diversas en todo el mundo, pero se necesitan muchas instalaciones adicionales para que podamos comprender las variaciones de la evapotranspiración de una área a otra.

Por medio de los diversos métodos para determinar la evapotranspiración, por imperfectos y esparcidos que estén, podemos formarnos una idea de la cantidad de agua que se transpira y evapora bajo condiciones diversas, y encontramos que la proporción de evapotranspiración depende de 5 factores: El clima, el suministro de humedad de la tierra, la cobertura de plantas, el tipo de tierra y su estructura, y el manejo de la misma. Cuando la humedad de la tierra es óptima, el manejo de la tierra y su tipo o

estructura tienen poco efecto en la proporción de evapotranspiración. Hay gran cantidad de evidencia que demuestra también que cuando la zona de raíces de la tierra cuenta con un buen suministro de agua, la cantidad utilizada por la vegetación depende más bien de la cantidad de energía solar recibida por la superficie y de la temperatura resultante, que de la clase de vegetación que crezca en el área. Por lo tanto, la pérdida de agua bajo condiciones óptimas de humedad de la tierra, o sea el potencial de evapotranspiración, parece regirse principalmente por las condiciones climatológicas.

LAS TRES POSIBLES FUENTES de energía para la evaporación o la evapotranspiración, son: la radiación solar, el calor que llega a la superficie de evaporación desde el aire y el calor que se almacena en el cuerpo que produce la evaporación. El calor latente de la vaporización varía de 574 calorías por centímetro cuadrado a 40° C., hasta 596 calorías por centímetro cuadrado a 0° C. Si el calor necesario para la evaporación de una pequeña capa de agua viniera del agua misma, su superficie se enfría hasta menos del punto de rocío. Por lo tanto, sin una fuente externa de energía la temperatura superficial bajaría rápidamente hasta el punto de rocío del aire y cesaría la evaporación. En un gran volumen de agua profunda, la evaporación podría alimentarse durante algún tiempo del calor específico del agua, pero ese proceso terminaría mucho antes de que se evaporara gran cantidad de agua. En consecuencia, la evaporación sólo puede ocurrir como proceso continuo mientras se recibe energía de alguna fuente externa.

El sol es la fuente original de toda la energía comprendida en el proceso de transformación de líquido a vapor de agua. Sin embargo, en la evaporación del agua no se utiliza toda la energía que se recibe del sol, y una parte de la radiación solar recibida se refleja inmediatamente de la superficie del agua hacia la atmósfera. En una superficie cubierta de vegetación, la radiación reflejada puede constituir, aproximadamente, un 25% de la radiación total recibida. Igualmente, cierto porcentaje de esa radiación recibida se vuelve a radiar de la superficie hacia la atmósfera, y esa cantidad depende de la temperatura de la superficie de la tierra y de la atmósfera que se encuentra sobre ella, siendo a menudo entre 10 y 15 % de la radiación recibida.

Después de deducir las pérdidas debidas a reflexión y reradiación, la parte sobrante (que se conoce como radiación neta) debe dividirse en tres partes, una de las cuales calienta la tierra, otra calienta el aire en contacto con la superficie de la tierra y la tercera se utiliza para evaporación.

En 1953, mientras participaba en una expedición de campo de Fuerza Aérea, a O'Neill, Nebraska, el Laboratorio de Climatología obtuvo una serie de mediciones micro-meteorológicas mediante las cuales es posible computar los diversos componentes de la radiación neta para cierto número de días. Los cálculos muestran que cuando la tierra está muy húmeda, más del 80% de la radiación neta se emplea en evaporación. Cuando la tierra está seca la evaporación disminuye grandemente, y la mayor parte de la radiación neta se destina a calentar el aire, quedando muy poca para evaporación. Entre estos dos extremos, la proporción de la radiación neta que se emplea en evaporación varía en una forma que no se ha precisado completamente.

En los Estados Unidos de Norteamérica se reconoció como básicamente correcto el método de presupuesto de calor sugerido originalmente por W. Schmid en 1915 para determinar la evaporación, pero se consideró impracticable debido a la dificultad de obtener las muchas observaciones que eran necesarias. Ciertas presunciones para simplificarlo hicieron posible calcular la evaporación de un lago u otra gran superficie de agua libre, pero no se encontró manera de determinar la evapotranspiración de una superficie de tierra cuando su proporción depende de la cantidad de agua en ella.

Se ha solucionado esta dificultad con la introducción del concepto de potencial de evapotranspiración. Es fácil determinar la evapotranspiración de las áreas que tienen cantidades variables de

Calor empleado para difusión, evaporación y almacenamiento en la tierra, y contenido de humedad de la tierra en días diferentes en O'Neill, Nebraska, 1953

Fecha	*Calor de difusión (C) (Calorías por cm²)*	*Calor almacenado en la tierra (S) (Calorías por cm²)*	*Calor de evaporación (E) (Calorías por cm²)*	*Total C+S+E (Calorías por cm²)*	*E / C+S+E (%)*	*Humedad de la tierra en un perfil (Pulgadas) de 18"*
Ago. 13, 14,	56.3	29.7	377.2	462.2	81	1.65
18, 19,	59.1	–4.8	287.8	342.1	84	1.40
22,	98.4	19.0	216.2	333.6	65	1.20
25,	181.9	41.5	131.8	355.2	37	1.05
31,	242.3	28.3	44.5	315.1	14	.75
Sep. 3, 4,	121.1	–47.5	136.5	210.1	65	1.20

humedad de la tierra cuando ésta desciende bajo su capacidad de campo, si el porcentaje de la radiación neta utilizada en la vaporización del agua es proporcional a la humedad de la tierra. Sería posible determinar el potencial de evapotranspiración directamente de la radiación neta si no fuera por la circunstancia de que el calor de la tierra y del aire son fuentes adicionales de energía para la evapotranspiración.

Los diferentes tipos de vegetación varían en su potencial de evapotranspiración porque absorben cantidades diferentes de radiación solar. A medida que aumenta el albedo de una superficie, la mayor parte de la radiación solar se refleja de nuevo hacia la atmósfera y queda una parte menor para el calentamiento y la evapotranspiración. (El albedo es la proporción entre la luz que se refleja de una superficie despulida y el total de luz que cae sobre ella).

Anders Angström ha dado los albedos de unas cuantas superficies diferentes, a saber: Hierba, 0.26; bosque de robles, 0.175, y selva de pinos, 0.14, y hemos encontrado que muchas de las legumbres comunes de huerto tienen albedos semejantes a los de la hierba.

El potencial de evapotranspiración de los tres tipos de vegetación mencionados debe ser menor en las superficies cubiertas de hierba y mayor en las selvas de pinos.

Se necesita todavía considerable trabajo para determinar la contribución exacta a la evaporación de cada una de las tres fuentes de energía bajo diferentes condiciones de clima, estructura de tierra y humedad. Debido a estos factores desconocidos y a que las observaciones de la radiación neta son muy escasas y no pueden calcularse todavía directamente, es necesario referirse a otros datos climatológicos, a fin de determinar la distribución del potencial de evapotranspiración.

Las mediciones más exactas de la evaporación y de la transpiración que pueden relacionarse con los factores climatológicos, a fin de obtener una relación exacta y práctica, se basan en los datos mensuales o estacionales de los proyectos de riego y de desagüe y en las diarias observaciones de los tanques de los evapotranspirómetros que se hacen funcionar cuidadosamente. Se ha encontrado que cuando se hacen ajustes para las variaciones de longitud de los días, existe una estrecha relación entre la temperatura media y el potencial de evapotranspiración. El estudio de los datos obtenibles ha producido una fórmula que permite el cálculo del potencial de evapotranspiración en cualquier sitio cuya latitud se conozca y para el que haya registros de temperatura. Esa fórmula se dio en el capítulo precedente.

Los trabajos efectuados en varios lugares están progresando hacia el perfeccionamiento de una nueva fórmula que se base en principios físicos. Mientras tanto, se emplea extensamente la actual fórmula empírica en varios estudios sobre el equilibrio hidráulico.

Se ha calculado por medio de esa fórmula el promedio anual del potencial de evapotranspiración para unas 3,500 estaciones de la Oficina Climatológica de los Estados Unidos de Norteamérica, y se ha preparado un mapa de la distribución de ese potencial de evapotranspiración.

El promedio anual de necesidades de agua varía de menos de 18 pulgadas en las altas montañas del Oeste a más de 60 pulgadas en 3 áreas aisladas de los desiertos de Arizona y del sur de California. Es menor de 21 pulgadas a lo largo de la frontera canadiense al oriente de nuestro país, y demás de 48 pulgadas en Florida y el sur de Texas.

La marcha del potencial de evapotranspiración sigue un patrón uniforme durante todo el año en la mayor parte de nuestro país. Es casi inexistente tan al Sur en los meses de invierno como en la planicie costera del Golfo. Es sólo de 2 pulgadas mensuales en el sur de Florida, y en julio llega a un máximo que varía desde 5 pulgadas a lo largo de la frontera canadiense hasta 7 pulgadas en la costa del Golfo. En algunas áreas montañosas y a lo largo de la costa del Pacífico, no llega a 5 pulgadas en cualquier mes.

La marcha de la precipitación es sumamente variable de una región a otra. En una gran parte de nuestro país más de la mitad de las lluvias caen durante la estación de crecimiento. En los estados de la costa del Pacífico se invierte la distribución y la mayor parte de las lluvias caen en invierno.

Como la lluvia y la evapotranspiración se deben a causas diferentes, a menudo no son iguales, ya sea en cantidad o distribución durante todo el año. En algunos lugares cae más lluvia uno y otro mes que la que puede utilizar la vegetación, y el sobrante se mueve a través de la tierra y sobre ella para formar corrientes y ríos que fluyen hacia el mar. En otros hay menos agua en la tierra un mes con otro que la que podría utilizar la vegetación si la hubiera disponible. No hay sobrantes de lluvias ni desbordamientos, excepto en aquellos lugares en donde la tierra no puede absorber toda el agua a medida que cae. En consecuencia, no hay ríos permanentes y no hay desagües hacia el océano. En otras áreas más, la lluvia es deficiente en una estación y excesiva en otra, así que a un periodo de sequía sigue otro con desbordamientos.

El agricultor que se propone utilizar agua suplementaria en sus cosechas debe contar con medios prácticos para determinar cuánta agua hay que emplear y en dónde se necesita. Una práctica común entre los agricultores consiste en vigilar las plantas para suministrarles agua cuando muestran síntomas de deficiencia de humedad. Esto no es satisfactorio, ya que cuando las plantas comienzan a mostrar algunos síntomas de carencia de agua han sufrido ya perjuicios y han disminuido sus rendimientos.

En vez de buscar las indicaciones de sequía en las cosechas, algunos investigadores sugieren que se vigile la tierra. Uno de ellos ha dicho que la única forma conocida para asegurarse de que existe la humedad de la tierra en forma fácilmente accesible, es mediante el examen frecuente del subsuelo por medio de una barrena de tierra u otro implemento semejante. Se han perfeccionado varios dispositivos que se instalan permanentemente en la tierra y que dan una indicación continua de la cantidad de humedad existente. Entre ellos se encuentran los elementos hechos de yeso, fibra de vidrio y nylon, en los que la resistencia eléctrica varía con la humedad. Se han empleado muchos de esos bloques en algunos de los grandes proyectos de riego para determinar los periodos de aplicación del agua.

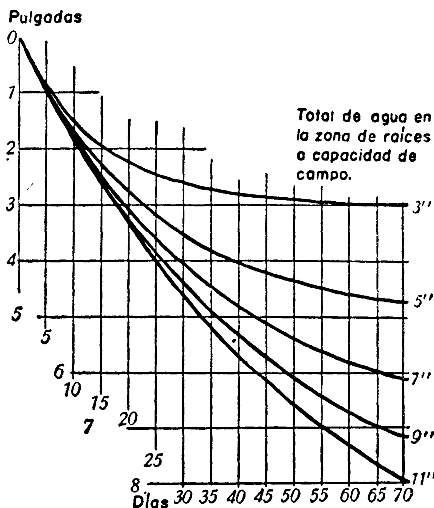
La solución climatológica es diferente. Se considera la humedad de la tierra como un equilibrio entre lo que penetra a ella como resultado de la precipitación y lo que sale en forma de evaporación y transpiración. La precipitación se mide fácilmente por medio de pluviómetros y los buenos agricultores la tienen en cuenta constantemente. No es fácil medir la evapotranspiración, pero las investigaciones que hemos descrito proporcionan una

forma de determinarla. En consecuencia, podemos precisar la pérdida diaria de humedad de la tierra debida a la evapotranspiración si podemos compararla con la precipitación diaria, pudiendo prepararse en esa forma un esquema de irrigación de modo semejante a un procedimiento de contabilidad. La humedad de la tierra puede compararse a una cuenta bancaria. La precipitación añade a esa cuenta y la evapotranspiración la disminuye. Por lo tanto, sólo necesitamos vigilar la evapotranspiración reintegrándola por medio de riegos cuando la precipitación no ocurre inmediatamente.

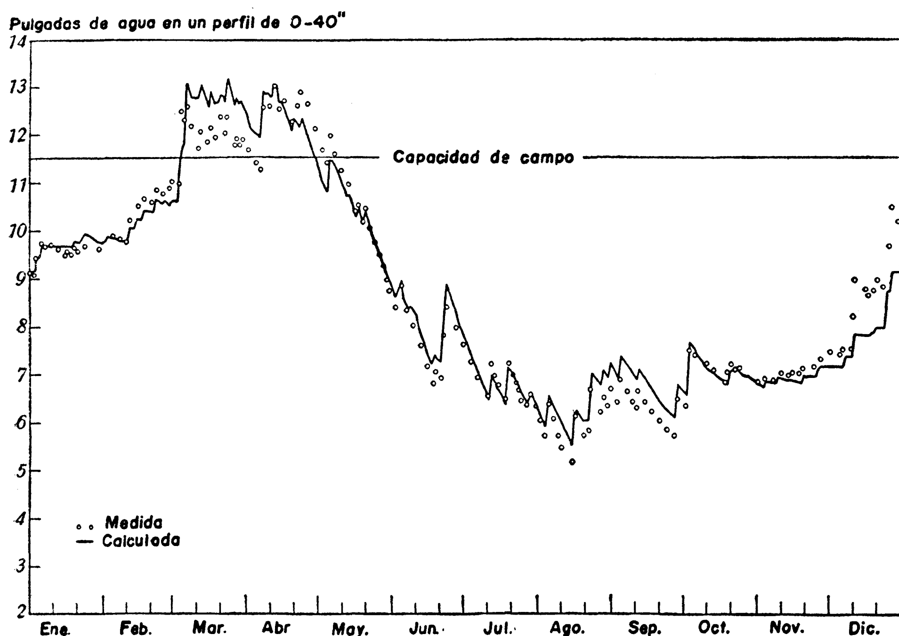
Cuando el contenido de humedad de la tierra se encuentra a su capacidad de campo o es superior a ella, toda agua que se le añada por precipitación se pierde en forma de filtración hacia abajo. Esa agua de gravitación sólo se detiene brevemente, dependiendo ese periodo de detención de la permeabilidad de la tierra y de la cantidad de agua de gravitación. Cuando la humedad de la tierra es inferior a su capacidad de campo, la precipitación hace primeramente que el almacenamiento de humedad de la tierra suba hasta ese nivel. La cantidad de agua que puede almacenarse en la zona de raíces de la tierra depende de su profundidad y del tipo y estructura de la misma. En cosechas con raíces poco profundas en una tierra arenosa, sólo pueden almacenarse de una a dos pulgadas de agua para su libre uso por las plantas. En cosechas con raíces profundas en una tierra de contextura fina, quedarán inmediatamente disponibles de 6 a 8 pulgadas de agua. Debe determinarse la cantidad de agua que pueda conservarse como almacenamiento mediante la consideración de la tierra y de la cosecha en cada caso.

Para calcular la profundidad de agua en una columna de tierra debemos considerar separadamente el agua de gravitación y el agua capilar. A capacidad de campo la tierra no tiene ni sobrantes de agua de gravitación ni deficiencias de agua capilar, y, por tanto, la capacidad de campo constituye un factor importante en ese cálculo.

La evaporación de una tierra húmeda comienza a disminuir inmediatamente el contenido de humedad de la misma. A medida que la tierra se seca disminuye la proporción de evapotranspiración. Al principio ésta continúa casi a la proporción máxima en todas las tierras, pero cuando se ha removido una pulgada de agua comienzan a variar las proporciones de las diferencias en las tierras. Cuando se ha escapado la mitad del agua, la proporción de evapotranspiración desciende a la mitad de la proporción potencial y las plantas comienzan a sufrir con la sequía. Con una proporción constante de potencial de evapotranspiración de 0.2 de pulgada diaria, se llegaría a la mitad de la proporción después de 7 días en tierras gruesas; pero en tierras de contextura fina sólo se llegaría a esa proporción después de 37 días En 20 días la humedad de la tierra compuesta de arena gruesa disminuiría hasta un punto en que la evapotranspiración sólo sería de 25% de la proporción potencial. Mucho antes de que se haya perdido una considerable cantidad de agua, las plantas sufren gravemente por la carencia de ella y el crecimiento se retrasa seriamente. En tierras que pueden almacenar 11 pulgadas



Este esquema muestra la proporción real de disminución de humedad de la tierra en tierras que contienen diferentes cantidades de agua en la zona de raíces, suponiendo una proporción constante del potencial de evapotranspiración de .2 de pulgada diario



Humedad de la tierra en un perfil de 0–40" en la vertiente hidráulica Y-102 Coshocton, Ohio, 1944. Se obtuvieron los valores medidos por el Servicio de Conservación de Tierras por medio de muestras de tierras y empleando lisímetros pesadores. Los valores calculados se tomaron de datos climatológicos diarios. Se empleó el método de presupuesto de agua

de agua se alcanzaría ese mismo grado de sequía sólo después de 75 días. Se han preparado tablas para hacer estos cálculos, en las que se dan las proporciones diarias de disminución de la humedad de la tierra bajo diversos grados de evapotranspiración para tierras que retienen diferentes cantidades de agua a su capacidad de campo.

Basándonos en los conceptos que hemos detallado, se han calculado las variaciones de un día para otro en la humedad de la tierra para varios lugares en los Estados Unidos de Norteamérica y se han comparado esos resultados con la determinación real de la humedad de la tierra. Considerando por una parte las suposiciones y aproximaciones hechas al computar esa humedad y por la otra los métodos de muestreo de tierra empleados, se ha encontrado que los valores de la humedad de la tierra obtenidos por mediciones y por cálculos está en estrecho acuerdo.

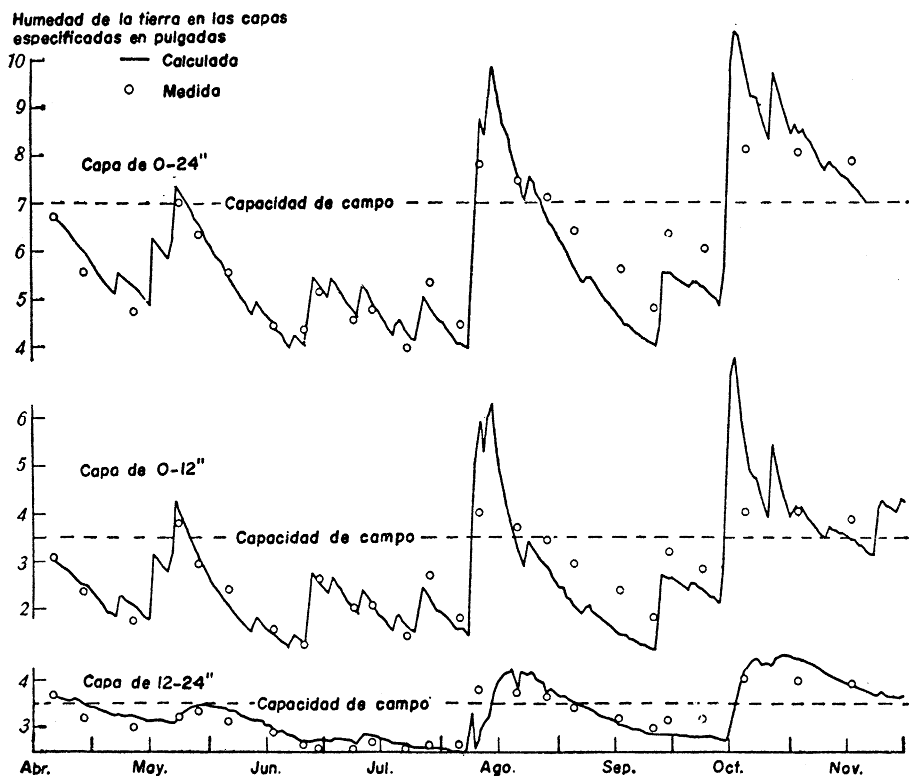
Al hacer cálculos para otras localidades con diferentes tipos de tierra y con zonas de raíces de profundidades diferentes debemos, usar la proporción adecuada de disminución de humedad de la tierra determinada para la cantidad especial de agua conservada a capacidad de campo en la profundidad de que se trate. Podemos calcular así la tendencia de la humedad de la tierra en cualquiera de sus tipos, así como para una capa de tierra del grueso que se desee. Además, pueden determinarse separadamente los regímenes de agua de las capas individuales de tierra por medio de datos climatológicos.

Los cálculos efectuados para gran número de lugares y para años diferentes apoyan la conclusión de que puede determinarse la humedad de la tierra con toda la precisión que sea necesaria por medio de datos climatológicos. Del acuerdo encontrado entre los valores de medición y de cálculo, es obvio que la solución climatológica permitirá una determinación precisa del movimiento del agua a través de la tierra y de la cantidad de

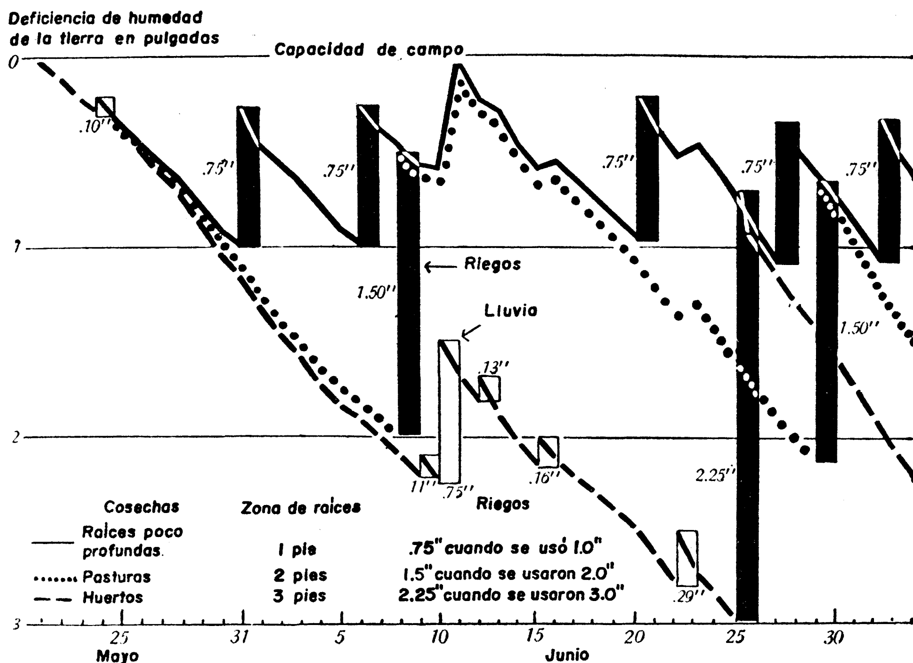
almacenamiento en cualquier capa deseada de ella. Sin embargo, todavía es necesario hacer ciertas suposiciones a fin de obtener los valores calculados. Los trabajos ulteriores harán posible afinar el método basándolo en principios físicos firmes.

La consecuencia natural de este método de calcular la humedad de la tierra es el esquema de riegos. Se pueden fijar límites bajo los cuales no se permita que descienda la humedad de la tierra para la cosecha y profundidad de zona de raíces deseadas. Bastará entonces llevar diariamente un registro de la cantidad de agua perdida por la tierra para que podamos saber exactamente cuándo se llega al nivel predeterminado de disminución de humedad de la tierra, y saber también cuántos riegos se necesitan para que el nivel de humedad vuelva a un valor seguro. Las cosechas de raíces poco profundas tendrán que regarse más frecuentemente, pero con menores cantidades de agua que los pastos o huertos con profundas zonas de raíces. Si ese esquema de riegos se lleva a cabo mediante un registro constante de la humedad de la tierra, no podrán producirse en ella grandes deficiencias de humedad que puedan limitar el crecimiento ni habrá tampoco excesos de riego que dañen tanto la tierra como las cosechas y que causen el desperdicio del agua.

A veces no es necesario o deseable hacer cálculos detallados diarios de las deficiencias de humedad de la tierra. Por ejemplo, un problema básico en la agricultura consiste en determinar la intensidad y frecuencia de la sequía como un



Humedad de la tierra en perfiles de capas específicas de la misma, College Park, Maryland, 1942. Los valores medidos se obtuvieron por el Servicio de Conservación de Tierras por medio de muestras de tierra. Los valores se computaron de los datos climatológicos diarios, empleando el método de presupuesto de agua

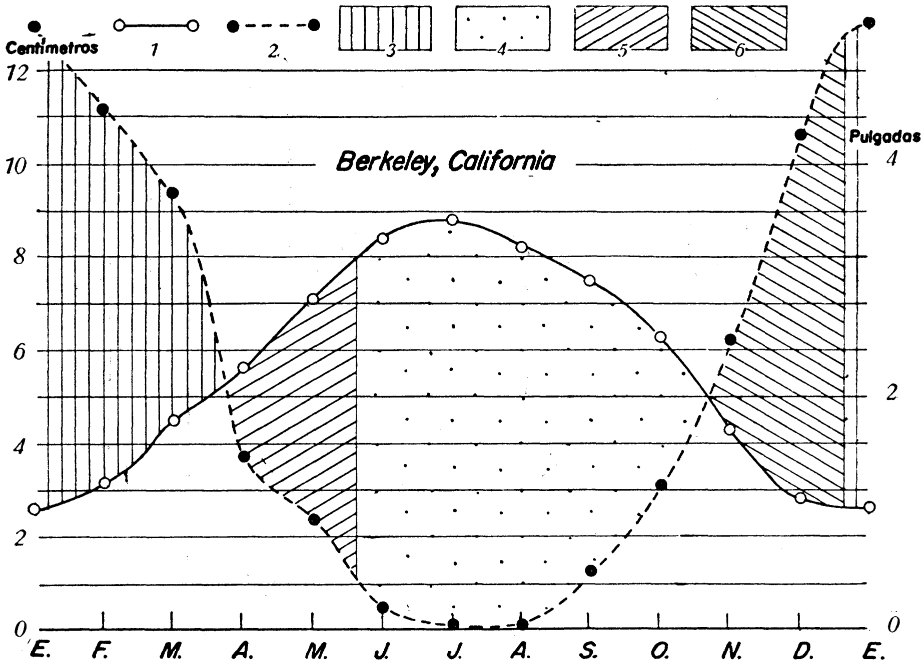


Este diagrama muestra el esquema de riegos para tres diferentes tipos de cosechas en Seabrook, New Jersey, 1954. La tierra contiene 3″ de agua a capacidad de campo por pie de profundidad. La lluvia del 21 de mayo dejó la tierra a su capacidad de campo, así que los cálculos de deficiencia comienzan con o en ese día

paso hacia la evaluación de la practicabilidad económica de los riegos. Para hacer una determinación cuantitativa de la intensidad de la sequía es necesario llevar registros de las deficiencias de humedad de la tierra, mientras que para determinar la frecuencia de la sequía se necesitan registros de humedad de la tierra durante una larga serie de años. En este caso no se justifica la precisión que puede obtenerse empleando valores climatológicos diarios para calcular las deficiencias de humedad de la tierra. Probablemente sería más satisfactorio emplear promedios mensuales de temperaturas y precipitación y calcular las deficiencias de temperatura con menos precisión, para un mayor número de años de registro y para mayor cantidad de estaciones que de otro modo no sería posible.

Al emplear factores climatológicos mensuales en vez de diarios pueden generalizarse algunos de los procedimientos usados para los cálculos diarios. Por ejemplo, aunque se reconoce que la cantidad de agua que queda disponible para las plantas en la zona de raíces varía con la estructura de la tierra desde aproximadamente una pulgada en tierras poco profundas hasta 6 u 8 pulgadas en margas cenagosas profundas y bien ventiladas, en las tierras agrícolas normales la cantidad total de agua disponible para las plantas varía mucho menos de lo que parecen indicar los estudios convencionales de humedad de la tierra. Se ha encontrado que 4 pulgadas es un promedio satisfactorio.

El agua de gravitación puede manejarse fácilmente en los cálculos mensuales, ya que es posible considerar como una sola cantidad, o sea desbordamiento, tanto el desbordamiento superficial como la filtración del agua de gravitación. No es necesario emplear cualquier factor diario para la detención del agua de gravitación en el perfil, sino simplemente un factor general de detención mensual para todo el desbordamiento, factor que varía con el tamaño de la vertiente hidráulica y que



Pulgadas
6
Centímetros
14
12
Seabrook, N. J.
10
8
6
4
2
0
4
2
0
E. F. M. A. M. J. J. A. S. O. N. D. E.

es aproximadamente el 50% en las grandes vertientes.

Utilizando esas suposiciones más generalizadas, podemos comparar la marcha mensual de la precipitación y del potencial de evapotranspiración en sitios diferentes.

En Seabrook, New Jersey, el potencial de evapotranspiración es ínfimo en invierno; pero a principios de primavera comienza a subir rápidamente y llega a 6 pulgadas en julio, o sea el punto más alto durante el año, descendiendo rápidamente en otoño. La precipitación correspondiente queda más uniformemente distribuida durante el año, siendo muy próxima a 3.5 pulgadas en 9 de los 12 meses. Los meses con más lluvias son julio y agosto, cada uno de los cuales recibe aproximadamente 4.5 pulgadas. Noviembre, que es el más seco, tiene sólo 2.75 pulgadas.

En este ejemplo no es necesario que coincidan la lluvia y el agua, ya que hay demasiada lluvia en invierno y muy poca en verano. Por lo tanto, en la temporada de máxima precipitación en julio y agosto, hay deficiencia de agua; pero en noviembre, cuando la lluvia desciende a los valores más bajos del año, hay un sobrante de agua, y la necesidad de agua desciende más abajo de la precipitación a principios de otoño. Durante un corto periodo de tiempo la lluvia sobrante reemplaza la humedad de la tierra que se había utilizado previamente, y después de ese periodo el sobrante de agua hace subir los niveles de agua del suelo y produce desbordamientos superficiales y subsuperficiales. En primavera aumentan rápidamente tanto la transpiración como la evapotranspiración, y muy pronto la necesidad de agua sobrepasa a la precipitación. Cuando la humedad de la tierra se encuentra a capacidad de campo, la evapotranspiración real y potencial es la misma, y toda la evaporación en exceso del potencial de evapotranspiración se convierte en sobrante de agua. Cuando la precipitación no es igual al potencial de evapotranspiración, la diferencia se obtiene en parte de la reserva de humedad de la tierra; pero a medida que ésta se seca la parte que no se repone es mayor, y a esto se llama deficiencia de agua, o sea la cantidad que constituye la diferencia entre la evapotranspiración real y potencial.

TANTO LOS SOBRANTES como las deficiencias de agua pueden derivarse de la comparación de la precipitación mensual con el potencial mensual de evapotranspiración. Los sobrantes de agua ocurren en invierno en Seabrook y llegan aproximadamente a 15 pulgadas, y las deficiencias de agua ocurren en verano y son aproximadamente de una pulgada. Durante el transcurso del año hay un sobrante neto de agua que llega a 14 pulgadas. Este sistema mensual de contabilidad hidráulica hace posible también determinar el agua que tiene que considerarse como almacenamiento de humedad en la tierra.

En Berkeley, California, en una zona climatológica diferente, casi toda la lluvia cae en invierno y prácticamente ninguna en verano. En esa zona el excedente de agua es de 4 pulgadas y la deficiencia de agua en verano es de 7 pulgadas, siendo, por lo tanto, relativamente considerable.

Tanto las lluvias como el potencial de evapotranspiración varían de un año a otro, por lo que las conclusiones que se basan en promedios a largo plazo sólo muestran una parte del problema, ya que ocasionalmente puede haber sequías aun en un sitio muy lluvioso. La prolongación y severidad de las sequías de verano en Seabrook y Berkeley varían grandemente de un año a otro.

PARA DETERMINAR QUÉ TAN SERIAS pueden ser las sequías en un sitio determinado, debemos comparar las necesidades y los suministros de agua en años individuales, y de este modo podemos determinar qué tan a menudo y en qué cantidad ocurren las deficiencias de agua. Como ejemplo podemos considerar datos de humedad seleccionados, obtenidos du-

Marcha promedia del potencial de evaporación (1) y de la precipitación (2) durante todo el año en Berkeley, California, y Seabrook, New Jersey. Los diagramas muestran también otros factores del equilibrio de humedad: Exceso de agua (3), escasez de agua (4), utilización de agua por la tierra (5) y recuperación de agua de la tierra (6)

Datos comparativos de humedad en estaciones seleccionadas de los Estados Unidos de Norteamérica. Valores promedios del periodo de 25 años de 1920 a 1944

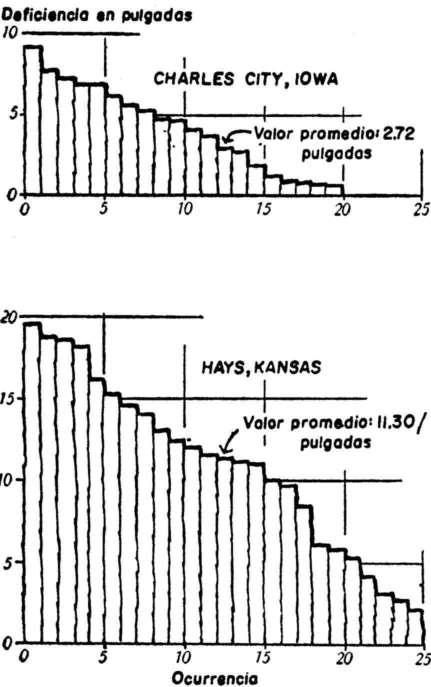
Estación	*Precipitación (Pulgadas)*	*Potencial de evapotranspiración (Pulgadas)*	*Evapotranspiración real (Pulgadas)*	*Exceso de agua (Pulgadas)*	*Escasez de agua (Pulgadas)*
Hays, Kansas	22.13	31.26	21.02	0.00	11.30
Charles City, Iowa	30.94	25.91	23.19	8.90	2.72
Wooster, Ohio	35.63	26.46	23.82	11.26	2.91
Auburn, Alabama	49.84	39.45	33.07	18.43	6.73

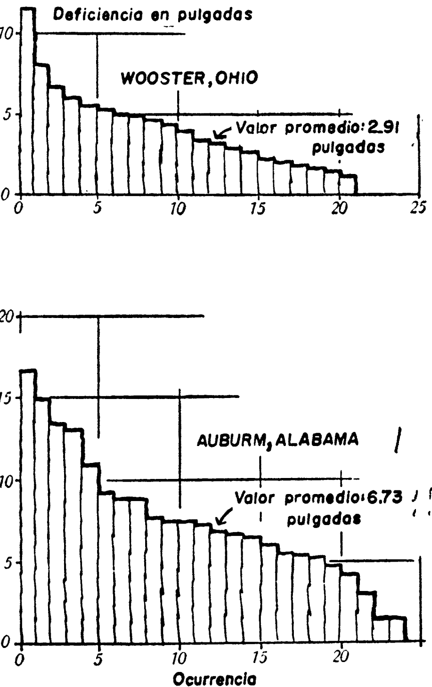
rante el periodo de 25 años de 1920 a 1944 en 4 estaciones de las áreas agrícolas de nuestro país, Hays, Kansas; Charles City, Iowa; Wooster, Ohio, y Auburn, Alabama.

En Hays, que es la estación menos lluviosa, el promedio de precipitación es aproximadamente de 22 pulgadas. En Auburn, las más lluviosa, es aproximadamente de 50 pulgadas. El promedio de lluvias en Hays es aproximadamente 10 pulgadas menor que las necesidades, y en Auburn es 10 pulgadas mayor. Sin embargo, en Auburn, gran parte de las lluvias caen en invierno cuando no se necesitan, convirtiéndose en agua sobrante y fluyendo hacia afuera; pero en verano hay una gran deficiencia de agua. La deficiencia de agua en Hays es también considerable, variando de casi 20 pulgadas hasta aproximadamente 2 pulgadas. En Hays no hay lluvias suficientes, y en Auburn hay más de las necesarias, pero están mal distribuidas durante todo el año.

Tanto en Charles City como en Woos-

DEFICIENCIAS ANUALES DE AGUA EN ESTACIONES SELECCIONADAS, 1920-1944





ter, que tienen una mejor distribución de lluvias durante el año, las deficiencias de agua son menores, llegando a menos de una pulgada y tres pulgadas, respectivamente, en la mitad de los años registrados. La intensidad y la frecuencia de las sequías son un poco menores en Charles City que en Wooster, y hay también menos agua sobrante en Charles City, 8.90 pulgadas comparadas con 11.26 pulgadas. Por lo tanto, de las 4 estaciones mencionadas, Charles City es la que más se aproxima al clima ideal para la agricultura, ya que los suministros de agua se acercan más a sus necesidades.

SE HAN HECHO MUCHOS ESTUDIOS estadísticos de la sequía, pero casi sin excepción son simples tabulaciones de los días que reciben menos de una cantidad específica de lluvias. Por ejemplo, en un análisis de probabilidades de sequía en los Estados Unidos de Norteamérica, publicado en 1942, se define un periodo de sequía como aquel en que no ocurriera más de 0.10 de pulgada de precipitación durante cualquier periodo consecutivo de 48 horas. En 1946 se tabularon los periodos de sequía de 6 estaciones en Georgia, definiéndose el periodo de sequía como "un periodo de 14 días, o más, durante el cual no cayera un cuarto de pulgada de lluvias en cualquier periodo de 24 horas." En 1954 se sugirió que se emplearan las tarjetas perforadas de la Oficina Climatológica para tabular el número de días sin lluvia durante la estación de crecimiento en varios lugares durante los últimos 20 años. Esa tabulación "proporcionaría la base para poder decir que en julio 3 días de cada 5 tendrán un periodo de sequía que durará 18 días o más". Se creyó que esa tabulación permitiría que los ingenieros agrícolas y otras personas pudieran decir a los agricultores si debían invertir en equipos de riego.

En realidad esas tabulaciones sobre el número de días sin lluvias no proporcionan ninguna información sobre la sequía. No podemos definir la sequía solamente como una escasez de lluvias porque esa definición no tendría en cuenta la cantidad de agua requerida. Además, el efecto de una escasez de lluvias depende de si la tierra está húmeda o seca al iniciarse ese periodo.

H. G. Shantz explicó que la sequía, en su verdadero sentido, se relaciona con la humedad de la tierra, y que comienza cuando la humedad disponible en ella disminuye a tal grado que la vegetación no puede absorber agua de la tierra con la rapidez suficiente para reemplazar la que pierde por transpiración a la atmósfera. La sequía no comienza cuando cesa la lluvia, sino sólo cuando las raíces de las plantas no pueden obtener humedad en la cantidad que necesitan.

Las diferencias en los promedios de rendimientos de las diversas localidades son proporcionales a las diferencias en la incidencia de la sequía. Los agricultores del Este y del Sudeste obtienen escasos dividendos de su trabajo en la tierra debido en parte a la alta incidencia de la sequía que resulta de la falta de coincidencia entre las lluvias y las necesidades de agua. Durante una gran parte de la estación de crecimiento la tierra no contiene humedad suficiente, y en la estación que no es de crecimiento un sobrante considerable de agua empobrece la tierra por desleimiento.

Para los agricultores de todas partes la sequía es un problema serio. Es difícil de medir porque todavía no somos capaces de determinar con precisión las necesidades de agua de las plantas ni sabemos tampoco cuándo podemos esperar sequías o qué tan intensas serán. Por lo tanto, no podemos saber con seguridad cuáles medidas de conservación de humedad serán las mejores en un tiempo y sitio determinados. La sequía es digna de estudio, y hasta que la hayamos conquistado por medio de riegos científicos no podremos obtener la máxima producción de nuestras tierras.

C. W. THORNTHWAITE *es director del Laboratorio de Climatología de Centerton, New Jersey, afiliado a la Universidad de Johns Hopkins y con el Instituto de Tecnología de Drexel. Se doctoró en la Universidad de California y ha sido profesor de las Universidades de Oklahoma, Maryland y Johns Hopkins. Es presidente de la Comisión de Clima-*

tología de la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas.

J. R. MATHER *es investigador del Laboratorio de Climatología de Centerton y trabaja en problemas relacionados con el factor de humedad en el clima. Se doctoró en la Universidad de Johns Hopkins, de la que fue profesor.*

La humedad de la tierra en relación con el crecimiento de las plantas

Cecil H. Wadleigh

LAS PLANTAS EN ESTADO de crecimiento transpiran enormes cantidades de agua que toman de la tierra. Un campo de maíz en Iowa transpira agua suficiente durante una estación para cubrir un campo a una altura de 12 a 16 pulgadas. La producción de una tonelada de heno seco de alfalfa en las Grandes Planicies puede necesitar la transpiración de 700 toneladas de agua más o menos, dependiendo de la fuerza de evaporación de la atmósfera. A una temperatura de 75° F., o a una humedad relativa de 50%, tendría que aplicarse al agua una fuerza tensional aproximada de 1,000 atmósferas para impedir la evaporación.

Las plantas pierden agua continuamente. Las pérdidas menores ocurren por la noche y las mayores a medio día; pero a menudo el agua de la tierra no se reemplaza por las lluvias o los riegos durante periodos de semanas o meses, y por ello la tierra actúa como un depósito de humedad para las plantas.

Para un productor de trigo de Colorado que puede recolectar 50 bushels por acre o nada, de acuerdo con el estado del depósito de humedad en sus tierras en una estación dada, sería difícil sobreestimar la importancia de la humedad de la tierra en el crecimiento de las plantas.

La capacidad del depósito de humedad de la tierra queda limitada por la capacidad de campo (límite superior) y el porcentaje permanente de marchitamiento (límite inferior) de la tierra en la zona efectiva de raíces de una cosecha. La capacidad de campo es el porcentaje de humedad de una tierra expresado a base de peso seco en el campo 2 ó 3 días después del completo humedecimiento del perfil de la tierra por las lluvias o por el agua de riegos. El porcentaje permanente de marchitamiento es el porcentaje de humedad de la tierra en el que las plantas se marchitan sin volver a recuperar su turgidez. Ordinariamente se determina cultivando plantas enanas de girasol en pequeños recipientes que contienen la tierra que se está examinando. La humedad retenida en la tierra contra una fuerza de desplazamiento de 15 atmósferas (221 libras por pulgada cuadrada), es un buen cálculo del porcentaje permanente de marchitamiento.

Hay una gran desigualdad entre el valor de 1,000 atmósferas asociado con la fuerza de evaporación del aire en un día caliente y seco y las 15 atmósferas de tensión de humedad de la tierra asociadas con el marchitamiento de las plantas. La proporción de penetración de agua a las raíces disminuye por el predominio de la tensión de unas cuantas atmósferas de humedad en la tierra, aunque las plantas pueden soportar una mayor fuerza de secado en la superficie de sus hojas.

El porcentaje permanente de marchitamiento de la tierra puede variar de 3% en una tierra arenosa gruesa, hasta 23% en arcilla fina. Las cifras semejantes para la gama de capacidades de campo son de 8 y 40%.

F. J. Veihmeyer y A. H. Hendrickson, de la Estación Agrícola Experimental de California, han llevado a cabo extensos experimentos para demostrar la utilidad de estos dos factores constantes de humedad de la tierra en las prácticas de riego. Designaron la humedad retenida por una tierra comprendida en la gama entre la capacidad de campo y el porcentaje permanente de marchitamiento como gama disponible, y, por lo tanto, el depósito de humedad constituye el agua en la gama disponible contenida por la masa de tierra en la zona activa de raíces.

Examinemos la cantidad de agua que

puede quedar disponible en una unidad de volumen de tierra, digamos un pie cúbico. Una tierra mineral se compone de 3 elementos principales, aire, agua y partículas minerales. Un pie cúbico en estado seco pesará desde 65 libras para las arcillas hasta 110 libras para las arenas. Las partículas de tierra tienen un promedio de densidad de 2.65, y un pie cúbico de substancias minerales de la tierra pesaría 165 libras. Por lo tanto, hasta un 60% del volumen de una tierra arcillosa puede consistir de huecos llenos de aire y agua. En las arenas gruesas esta cifra puede bajar hasta 30%.

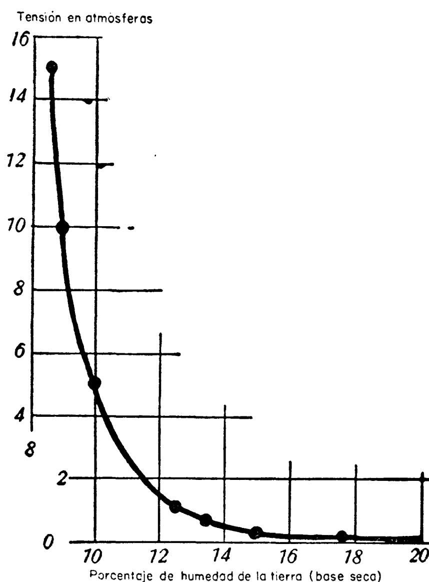
Para muchas plantas es indispensable que esos huecos estén solo parcialmente llenos de agua, a fin de obtener la ventilación necesaria.

Las plantas varían considerablemente en sus hábitos de arraigar bajo condiciones favorables de tierra. Las raíces de las lechugas y espinacas penetran solamente de 12 a 15 pulgadas; las de las papas y chícharos, aproximadamente 2 pies; los tomates y el tabaco, 3 pies; el maíz de campo y los espárragos, 4 pies, y la alfalfa y las vides, de 8 a 10 pies, o más. Las papas que crecen en una marga que puede contener 1.5 pulgadas de agua disponible por pie de profundidad, tendrían un depósito total de humedad de 3 pulgadas de agua, cantidad suficiente para el vigoroso crecimiento de una cosecha de papas durante un periodo aproximado de una a tres semanas, dependiendo de la proporción de evaporación.

HAY EVIDENCIA DE QUE EL AGUA en la gama disponible de una tierra lo es igualmente para las plantas de cosecha, aun cuando el agua en el límite superior o capacidad de campo quede imposibilitada para llegar a las raíces de las plantas por una fuerza tensional aproximada de sólo 1.5 libras por pulgada cuadrada, mientras que el agua en el límite inferior o porcentaje permanente de marchitamiento, queda impedida por una fuerza tensional aproximada de 200 libras por pulgada cuadrada, constituyendo estos valores una amplia diferencia en la fuerza tensional. ¿Por qué hay entonces evidencia de que por lo que hace al crecimiento de las plantas el agua se encuentra disponible entre esos dos límites?

La relación existente entre la tensión de humedad de la tierra y el contenido de humedad nos proporciona la respuesta. (Véase el diagrama al final del capítulo.)

Estos datos se tomaron en una muestra de marga Panoche, una tierra que se encuentra en California y que tiene una capacidad de campo de 18% y un porcentaje permanente de marchitamiento de 8.6%. Es de gran importancia hacer notar que el cambio en la tensión de humedad con un contenido de humedad entre



Esta tabla muestra la relación entre el contenido de humedad de la tierra y la tensión en marga de Panoche.

los dos porcentajes de ella no es lineal, sino marcadamente curvilíneo. A medida que la tierra se seca y se aproxima al porcentaje de marchitamiento permanente, hay muy poco aumento en la tensión de humedad, aunque se han utilizado dos terceras partes de la humedad disponible. Por otra parte, a medida que se llega al porcentaje permanente de marchitamiento, hay un enorme aumento en la tensión de humedad asociado con una pequeña disminución en su contenido. Por lo tanto, la forma de la curva explica la evidencia que indica que para fi-

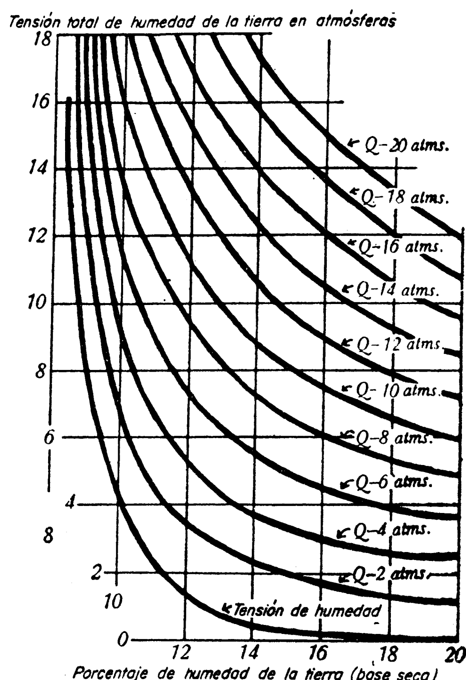
nes prácticos el agua de la tierra queda esencialmente disponible en igual forma hacia abajo casi hasta el porcentaje de marchitamiento. Predomina también la evidencia en contrario. En general, cuando se han agotado de las dos terceras a las tres cuartas partes del agua disponible en el depósito de humedad, las plantas pueden dejar de crecer.

Todas las tierras tienen curvas de retención de humedad semejantes a las de la tabla mencionada, pero su forma y trayectoria varían.

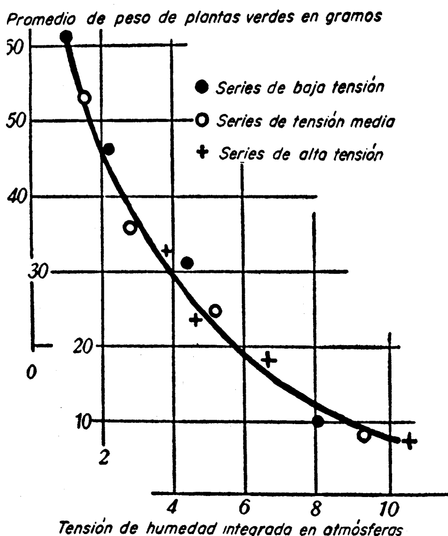
Las sales disueltas derivadas de los fertilizantes o de las fuentes naturales, como ocurre en las tierras saladas, disminuyen también la disponibilidad de agua para las plantas. Las sales disueltas aumentan la presión osmótica de una solución que se mide en términos de atmósferas como puede medirse la tensión de humedad de la tierra. Hay evidencia que indica que los efectos de la tensión de humedad y la presión osmótica se suman para impedir la disponibilidad del agua a las raíces. Se ha llamado a la suma de estas dos fuerzas el total de tensión de humedad de la tierra.

La segunda tabla muestra los efectos de varios niveles de sales añadidas, expresados en atmósferas de presión osmótica sobre el total de tensión de humedad de la tierra de aquellas que tengan la curva de tensión que muestra la primera tabla. El aumento en los niveles (valores de Q) de las sales adicionales, disminuye la disponibilidad del agua de la tierra.

Los datos de la tercera tabla ilustran un experimento que confirma esta última afirmación. Se cultivaron plantas de algodón en tambores de aceite llenos de tierra, a la que se añadió 0.1% de cloruro de sodio para hacerla ligeramente salina. (Q fue aproximadamente igual a 6 atmósferas a una humedad de 12%.) Se determinó diariamente el contenido de humedad de la tierra pesando los tambores y se midió todas las mañanas el largo de las hojas a las 8 a.m. Cuando se agotó el 90% del total teórico del agua disponible, se regó la tierra como lo muestran las flechas. Casi todas las hojas dejaron de crecer un día o dos después de los riegos, aunque no se marchitaron las



La relación existente entre el total de tensión de humedad de la tierra y el contenido de humedad en una marga de Panoche con varios incrementos en la presión osmótica de la solución de tierra inducidos por la adición de sal.



Crecimiento acumulado de las plantas de judías relacionado con el total de tensión de humedad de la tierra derivado de varias combinaciones de tensión de humedad y presión osmótica

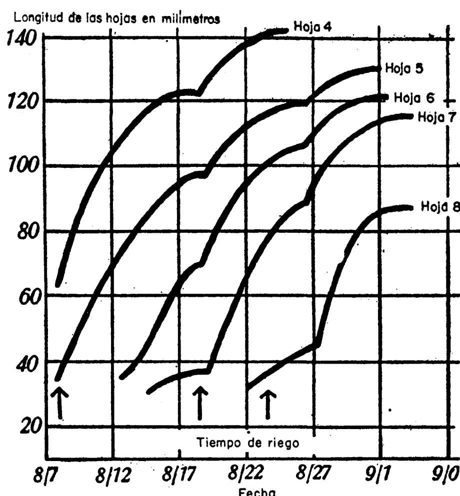
plantas. Los cálculos demostraron que el total de tensión de humedad de la tierra asociado con la interrupción total de crecimiento de las hojas fue de 14 atmósferas.

Los efectos anteriores sobre el crecimiento diurno de las hojas se suman a través del tiempo. Esto se demuestra una vez más con los datos presentados en la tabla correspondiente al final de este capítulo, que muestra la tensión total de humedad de la tierra en plantas de judías cultivadas hasta su madurez en tierras contenidas en tambores de aceite y que se hicieron variar en salinidad (efecto de presión osmótica) añadiendo 0, 0.1, 0.2 y 0.4% de cloruro de sodio a diferentes partes de la tierra utilizada. Algunos de los cultivos de tierra se conservaron bastante húmedos (series de baja tensión); otros se regaron cuando se habían utilizado dos terceras partes del agua disponible (series de tensión media) y otros se dejaron secar casi hasta el porcentaje de marchitamiento (series de alta tensión). El crecimiento de las plantas de judías quedó estrechamente relacionado con el total de tensión de humedad de la tierra, independientemente de que esa tensión se debiera a salinidad o humedad.

El crecimiento de las plantas es el resultado primordial de dos procesos principales: La división de células (producción de células nuevas) y la dilatación de las células. Las extensas investigaciones efectuadas en las remolachas de azúcar por D. T. Watson, de la Estación Experimental de Rothamsted, en Inglaterra, indican que las deficiencias de humedad de la tierra afectan principalmente el crecimiento por inhibición de la dilatación de las células y no porque afecten su división.

La célula de una planta es un osmómetro viviente en el que la solución que contiene tiende a absorber el agua de las partes que lo rodean, causando así una presión hidrostática interna en la pared de la célula, o presión de turgidez. Esa presión de turgidez es la fuerza que produce la dilatación de la célula, y su efectividad queda controlada por la acción de una substancia que se encuentra en su interior y que se conoce como auxina. Por lo tanto, el crecimiento de la planta está directamente relacionado con el grado y duración de la turgidez de los tejidos de la planta.

Las pérdidas de agua por transpiración de las plantas producen un esfuerzo tensional dentro de ellas que contrarresta el predominio de la presión de turgidez para dilatar las células. Ese esfuerzo tensional interno se disminuye con el agua absorbida de la tierra. Las condiciones tales como la mala ventilación de la tierra, la elevada tensión de humedad o la salinidad, pueden estorbar la capacidad de las raíces para absorber agua, lo que hace que no se alivie en forma adecuada la tensión de humedad de la planta, y esto puede llegar a un grado en que la planta pierda su turgidez.



Crecimiento de las hojas de una planta de algodón relacionado con el agotamiento y reposición de la humedad de la tierra.

CECIL H. WADLEIGH *ha sido agrónomo ayudante de la Estación Agrícola Experimental de Arkansas y fisiólogo principal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica en Riverside, California. Actualmente es jefe de la Sección de Relaciones de Tierras y Plantas de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas.*

Cómo medir la humedad de la tierra

Howard R. Haise

LOS AGRICULTORES, agrónomos, ingenieros, hidrólogos y otros, han necesitado un método práctico para medir la humedad de la tierra en forma rápida y precisa sin necesidad de hacer el costoso y tedioso trabajo de "extraer una milla o dos" de muestras de tierra.

Necesitan datos sobre la humedad de la tierra para los estudios de desbordamiento en las vertientes hidráulicas, el efecto de la acumulación de humedad bajo los pavimentos, el movimiento de la humedad en la tierra, la disponibilidad de la humedad para su utilización por las plantas, el tiempo y cantidad de riegos, y muchos otros problemas.

Desde el punto de vista de los agrónomos, la medición de los cambios habidos en el agua de la tierra de un día a otro comprende dos factores, la cantidad de agua por unidad de masa o volumen de tierra o el porcentaje de humedad, y la energía o fuerza con que se retiene esa agua.

El porcentaje de humedad, determinado por el secado en estufas, representa el contenido total de agua de una tierra. En términos de crecimiento de las plantas, incluye el agua disponible y no disponible. El agua no disponible incluye la porción retenida tan firmemente por la tierra que no puede ser absorbida por las raíces de las plantas.

Ordinariamente se considera como agua disponible la cantidad retenida entre la llamada "capacidad de campo" o el contenido de humedad que existe 2 ó 3 días después de que se ha regado una tierra a una profundidad mínima de 3 pies, y el porcentaje permanente de marchitamiento, o sea el contenido de humedad al que las plantas dejan de crecer. Estrictamente hablando, queda también disponible el agua libre que se mueve hacia abajo por gravedad en los 2 ó 3 días siguientes a una lluvia o riego. La cantidad de agua suministrada a las plantas durante ese intervalo de tiempo es apreciable y no puede ser ignorada, especialmente en tierras que no tienen una capacidad de campo. Como la humedad disponible merece atención principal, cualquier método que mida el estado de agua de una tierra debe ser capaz de determinar los cambios que ocurran de un día a otro dentro de esa gama de humedad.

Los métodos empleados para medir el agua de la tierra son de varias clases:

Los que se basan sobre mediciones gravimétricas: *a)* Determinación de humedad de muestras de tierra; *b)* Determinación de humedad en medios porosos en equilibrio húmedo con el agua de la tierra.

Los que dependen de la medición de tensiones de equilibrio entre el agua en un vaso poroso de cerámica y el agua de la tierra.

Los que dependen de las propiedades eléctricas de la tierra o medios porosos en equilibrio húmedo con el agua de la tierra: *a)* métodos de conductancia o resistencia; *b)* métodos de capacitancia; *c)* métodos dieléctricos.

Los que se basan en las propiedades térmicas de la tierra o medios porosos en equilibrio húmedo con el agua de la tierra.

Los que dependen del esparcimiento de neutrones.

Los que dependen de la resistencia de la tierra a la penetración.

A pesar de sus desventajas, el método gravimétrico es el más preciso entre los que están actualmente disponibles. El procedimiento normal requiere la recolección de muestras de tierra en el campo con un tubo o barrena de tierra. La muestra de tierra se transfiere a un recipiente cerrado y se pesa. El recipiente se abre después, se coloca en una estufa y se seca a 105° C.

La muestra de tierra se vuelve a pesar cuando ha alcanzado un peso constante. La pérdida de peso representa el agua de la tierra expresada como porcentaje de la tierra seca. Si se conoce la densidad bruta de una muestra de campo puede expresarse la cantidad de agua como porcentaje del volumen bruto o como profundidad de agua por unidad de profundidad de tierra. El uso de esa información para determinar cuándo se

necesitan los riegos y cuánta agua hay que aplicar, hace necesario que se conozca el límite superior e inferior del agua disponible, es decir, la capacidad de campo y el porcentaje permanente de marchitamiento. Esos valores pueden obtenerse por medio de procedimientos normales de campo y de laboratorio.

Hay muchas desventajas prácticas para el empleo de métodos gravimétricos en los estudios generales sobre humedad. Se necesitan por lo menos 24 horas para obtener resultados, así como grandes cantidades de trabajo, tiempo y equipo para muestrear la tierra, secarla, obtener pesos y hacer cálculos.

Los bloques gravimétricos de retención, perfeccionados en 1942 por W. E. Davis y C. S. Slater, se hacen de Hydrocal, un producto de yeso, y consisten de una cámara exterior porosa y truncada, o cubierta, que contiene una pieza porosa cónica que ajusta perfectamente. Se coloca arena cribada en la pieza cónica porosa para proporcionar sensibilidad en la gama de humedad cercana a la capacidad de campo. La unidad se fija a un tubo elevador de baquelita, de longitud suficiente para que pueda instalarse a la profundidad deseada en la tierra. Cuando se entierra en tierra húmeda, ocurre la retención de humedad por el material poroso hasta que se llega al equilibrio con el agua de la tierra. La correlación entre el peso de la pieza poroso cónica y la humedad de la tierra, da una medida indirecta de ella. Se usa un gancho de alambre para mover la pieza porosa cónica a través del tubo elevador para pesarla en una balanza de torsión. Se necesitan diferentes curvas de calibración para cada tierra individual.

Los bloques gravimétricos de retención proporcionan una base firme para medir la humedad de la tierra; pero los investigadores, técnicos o agricultores no han usado extensamente este método. Sus desventajas principales parecen consistir en la falta de un implemento adecuado para pesar las piezas cónicas porosas, en un retardo para llegar al equilibrio de humedad, en la deterioración del yeso, especialmente en condiciones de saturación de agua, y a su poca duración. Sin embargo, las sales de la tierra no afectan la unidad.

L. A. Richards y A. R. Weaver, investigadores del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica, perfeccionaron un medidor de humedad de la tierra que emplea bloques de retención, semejante en principio al que ya hemos descrito. El instrumento utiliza un bloque de retención compuesto de 90% de ladrillo poroso y 10% de tierra diatomácea que es más durable que el yeso. El bloque está cubierto con una capa delgada de mica y se coloca en un papel de fibra larga de asbesto en contacto con la tierra. Un tapón de hule sujeto a un tubo de metal fija el disco en su lugar y sella la cámara donde se encuentra el bloque de retención. Este conjunto se fija en posición por medio de un tubo grande de metal que se puede levantar a fin de sacar el disco poroso para pesarlo. Se emplea una balanza "Jolly" portátil montada en el exterior del tubo de metal para pesar el bloque de retención, que se sostiene con un alambre para pesarlo.

Los medidores de humedad de bloques de retención ofrecen las ventajas de tener discos de retención durables, dar lecturas precisas aun durante largos periodos de abandono y transcurso del tiempo y carencia de efectos adversos producidos por las sales. Su desventaja principal es la fragilidad característica de la balanza necesaria para las pesadas de precisión, circunstancia que ha limitado el empleo del instrumento.

Un tensiómetro de humedad de la tierra, perfeccionado por el doctor Richard y sus ayudantes, mide la tensión o condición del agua en la tierra y consiste de un vaso poroso lleno de agua conectado a un medidor de vacío o manómetro de mercurio. Los valores de tensión se expresan ordinariamente en centímetros de agua o mercurio, e indican la disponibilidad del agua de la tierra para las plantas. Cuando se conoce la relación existente entre la tensión de humedad de la tierra y el agua de ella, los instrumentos pueden usarse también para indicar el contenido de humedad de una tierra determinada. Estos instrumentos se hacen

en formas adecuadas para varios fines, y ordinariamente se prefiere el tipo que utiliza un manómetro de mercurio como implemento de investigación, porque proporciona una precisión mayor. Los tensiómetros equipados con medidores de vacío tipo "Bourdon" son más adecuados para las aplicaciones prácticas de control de riegos, debido a su sencillez, y se fabrican en varias formas.

Cuando se llenan de agua y se entierran en tierra húmeda, ocurre un movimiento hacia afuera del agua a través del vaso poroso para establecer el equilibrio de humedad entre el agua del vaso y la de la tierra. El aumento de tensión que ocurre a medida que la tierra se seca hace que aumente la lectura del medidor de vacío. A la inversa, un aumento del contenido de agua de la tierra disminuye la tensión y baja la lectura del medidor. El tensiómetro continúa registrando las fluctuaciones del contenido de agua de la tierra si no excede de una tensión aproximada de 0.85 de atmósfera. Esto es posible debido a la selección de una cerámica con poros lo suficientemente pequeños para que el aire no pueda entrar al sistema cuando se llenan de agua. Sin embargo, cuando la tensión de agua de la tierra excede de 0.85 de atmósfera, el aire entra al sistema y el instrumento deja de funcionar. Cuando el agua de la tierra se repone por medio de riegos o por las lluvias, el instrumento debe llenarse nuevamente con agua antes de que pueda volver a funcionar.

El empleo de los tensiómetros requiere cierta experiencia. Se obtendrán resultados imprecisos si el aire entra a la unidad a través de fugas que se produzcan en las conexiones de hule. Se usa tubería de neopreno o de koroseal de preferencia a la tubería ordinaria de hule, porque son menos permeables al aire y no se deterioran tan rápidamente bajo los rayos directos del sol. Además, la tubería ordinaria de hule que queda en contacto con la tubería de latón o cobre, forma sulfato de cobre que destruye el empaque.

Los vasos defectuosos pueden ser también una fuente de entrada de aire al sistema. Puede determinarse la presión de burbujeo observando la presión en que ocurren fugas cuando se saturan las paredes del vaso de cerámica y éste se sumerge en agua. Los vasos probados en esa forma deben soportar una presión de 15 libras por pulgada cuadrada o mayor. A veces se producen fugas de aire en el punto de contacto de los tornillos de presión empleados para fijar el vaso poroso al soporte de metal del tensiómetro. Esos tornillos no deben apretarse más de lo necesario para sujetar el vaso en su soporte cuando el tensiómetro se remueve de la tierra, y en los modelos más recientes se han eliminado esos tornillos de fijación.

El aire disuelto liberado del agua bajo una succión de vacío se recoge en una trampa de aire que queda visible sobre la superficie de la tierra. La presencia de aire en la trampa indica que debe darse servicio al instrumento.

La abertura proporcionada por la trampa de aire permite también añadir agua al sistema. Debe usarse agua destilada hervida recientemente para remover el aire disuelto. Es conveniente el empleeo de una jeringa para oídos para llenar la unidad y desalojar el aire del sistema. La presión aplicada a la jeringa después que se ha llenado la trampa de aire fuerza el agua a través del tubo capilar que conecta el vaso poroso con el manómetro de mercurio. La exclusión del aire queda virtualmente terminada cuando no se ven burbujas de aire a medida que el agua fluje a través del tubo capilar de vidrio del manómetro. No debe añadirse agua bajo presión a las unidades dotadas con medidores de vacío, ya que el resorte "Bourdon" pueden dañarse fácilmente. Es preferible aplicar un vacío al sistema de aire con una bomba de bicicleta a la que se invierten las válvulas. Puede usarse también este método en los tensiómetros de tipo de mercurio.

Se han observado fluctuaciones en las lecturas de tensiómetro de un día para otro debidas a cambios de temperatura en las tierras de contextura gruesa de los desiertos. El fenómeno se asocia con la transferencia de vapor y resulta de un gradiente de temperatura entre el vaso po-

roso y la tierra. Cuando se elevan las temperaturas durante el día, el calor conducido a través del soporte de metal del tensiómetro calienta el vaso poroso, dando por resultado un gradiente de temperatura en dirección del vaso. La transferencia de vapor del vaso a la tierra hace que suba el manómetro de mercurio. A la inversa, una baja de temperatura por las noches disminuye la temperatura del vaso más allá de la de la tierra y hace que se deposite agua libre en la cara del vaso en contacto con la tierra, en la misma forma que se cubre de humedad un vaso con hielo en un día húmedo. A medida que el agua penetra en el vaso, baja la tensión del sistema y baja el mercurio del manómetro.

La magnitud de las fluctuaciones depende de la tierra, de su profundidad, condiciones climatológicas, tipo de tensiómetro y material empleado en su construcción. En las tierras desérticas de contextura gruesa, los experimentos han demostrado que son comunes las fluctuaciones diarias de 350 a 400 centímetros de agua a una profunidad de 6 pulgadas. Esas fluctuaciones disminuyeron con la profundidad, no pudiendo apreciarse más abajo de 48 pulgadas. Los resultados obtenidos en otras áreas han demostrado que la magnitud de fluctuación es mucho menor en tierras de contextura mediana y fina, especialmente en sitios en donde la gama diaria de temperaturas no es tan extensa. La substitución de las piezas de metal de los tensiómetros con piezas de plástico puede eliminar prácticamente el problema de las fluctuaciones diurnas. Cuando esto no puede hacerse, deben tomarse las lecturas antes de la salida del sol o dentro de una hora después de ella. Los valores de tensión observados a esa hora constituyen una indicación precisa de las condiciones de humedad de la tierra cuando ocurren fluctuaciones apreciables.

La limitación de la gama de utilidad de los tensiómetros de 0 a 850 centímetros de agua o de 0.85 de atmósfera no es un obstáculo en tierras arenosas, ya que del 80 al 90% de la humedad disponible para las plantas se retiene a tensiones menores de una atmósfera. En comparación, aproximadamente el 45% de la humedad disponible en tierras de contextura fina queda dentro de los mismos límites de tensión de humedad de la tierra. En aquellos casos en que los tensiómetros tienden a dar lecturas mayores que lo que permite su escala, el vaso poroso puede colocarse más profundamente dentro de la tierra si se desea obtener una mayor disminución de humedad de la tierra en las capas superficiales. La profundidad de instalación dependerá de las características de arraigamiento de la cosecha y de la remoción total de humedad del depósito existente en la zona de raíces.

Otro procedimiento consiste en instalar los vasos porosos a una profundidad uniforme en la zona activa de raíces, demorando por algún tiempo los riegos después de que se ha llegado al límite superior de tensión de los instrumentos. El periodo adicional establecido entre riegos se fija arbitrariamente como fracción del tiempo requerido para alcanzar ese límite máximo de tensión, ya sea una tercera parte o la mitad. Por lo tanto, un límite de tensión aceptable alcanzado 6 días después de los riegos, requeriría que el intervalo entre riegos se extendiera por 2 ó 3 días más. Ese procedimiento permite un intervalo flexible de riegos más allá de la gama del tensiómetro, dependiendo de la proporción de disminución de la humedad de la tierra.

Una variación en las lecturas del tensiómetro en el área de una parcela dada, se asocia ordinariamente con condiciones poco uniformes de la unidad de la tierra. La mala distribución del agua, la extracción diferencial de humedad por las raíces de las plantas, la heterogeneidad de la tierra, su consolidación, etc., son factores que contribuyen a las variaciones de la humedad de la tierra. La colocación de tensiómetros en la misma posición relativa con respecto a los surcos y a las fuentes de agua puede disminuir esas variaciones.

El tensiómetro es el instrumento más preciso con que contamos para medir la tensión del agua de la tierra. Su sensibilidad en sistemas estáticos o de movimiento lento es igual o menor a un milíme-

tro de mercurio en un manómetro. Un instrumento tan preciso es muy apropiado para las mediciones de carga y gradiente hidráulicos del agua de la tierra cerca de su capacidad de campo. Un tensiómetro compacto de copa múltiple, diseñado para tal fin por L. A. Richards, permite obtener mediciones simultáneas de la tensión de humedad a intervalos aproximados de 4 pulgadas en los 2 pies superiores del perfil de la tierra. El empleo del tensiómetro para medir la tensión de la humedad de la tierra es muy semejante al empleo de un voltímetro en relación con la electricidad, es decir, que siempre se empleará como instrumento de referencia.

Los primeros esfuerzos para medir la resistencia eléctrica de la tierra en relación con su contenido de humedad no tuvieron éxito. El método empleado comúnmente consistió en el empleo de 2 electrodos enterrados en la tierra, y las mediciones se hacían con corriente alterna para evitar la polaridad; pero la sal de la tierra afectó la relación existente entre su humedad y su resistencia, y las variaciones de resistencia de contacto entre los electrodos y la tierra, debido a la contracción y expansión de la tierra a su alrededor, produjo lecturas falsas.

En 1940 se probó una solución práctica del problema cuando J. G. Bouyoucos y sus asociados de la Estación Agrícola Experimental de Michigan, introdujeron una unidad que emplea un bloque de yeso y que consiste de dos electrodos hechos de un alambre recto o de una rejilla de 20 mallas de acero inoxidable forrada con yeso que sirve de material absorbente. Cuando se coloca en la tierra, el yeso se convierte esencialmente en parte de la misma y responde a los cambios de contenido de humedad de la tierra. Las fluctuaciones de humedad en el bloque afectan la cantidad de yeso en solución, lo que a su vez determina su resistencia eléctrica. Esa resistencia proporciona una medida indirecta de la humedad de la tierra cuando el bloque se calibra para una tierra determinada.

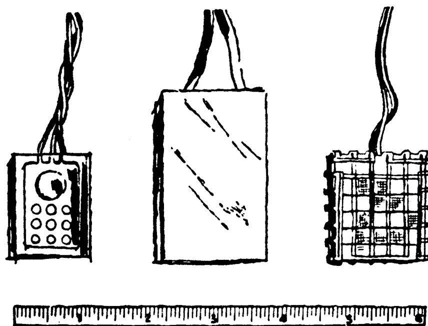
Se han utilizado otros materiales como absorbentes para forrar los electrodos, tales como nailon, fibra de vidrio y combinaciones de ellos con yeso. La unidad de nailon, perfeccionada también por el doctor Bouyoucos, consiste de dos rejillas de acero inoxidable que sirven de electrodos y que están separadas y envueltas con tres trozos distintos de tela de nailon. Los alambres de contacto se sueldan con plata a cada electrodo y las partes se encierran en una caja perforada de acero inoxidable. Se aplica presión al conjunto para obtener un contacto uniforme entre los electrodos y el nailon. La capa perforada se sujeta en las orillas mientras está todavía bajo presión, a fin de fijar fuertemente todas sus piezas.

E. A. Colman y T. M. Hendrix, de la Estación Experimental de Bosques y Praderas de California, perfeccionaron la unidad de fibra de vidrio que es semejante a la de nailon. El elemento sensible a la humedad se compone de dos electrodos en forma de rejillas de metal monel separados por dos gruesos de tela de fibra de vidrio. Se hacen tres envolturas adicionales con la misma tela alrededor de los electrodos. Ese conjunto sensible a la humedad se encierra en una caja de metal monel con perforaciones a cada lado. Esa caja está formada a presión en dos mitades semejantes para asegurar la rigidez y precisión en las dimensiones. Cuando se ensambla y se fija en su sitio con puntos de soldadura, la caja sirve para comprimir uniformemente la fibra de vidrio. Un termistor en cada unidad proporciona las lecturas de temperatura deseadas.

Las unidades de nailon y fibra de vidrio proporcionan mayor sensibilidad que los bloques de yeso en las gamas superiores de humedad de la tierra. Una objeción a su diseño y empleo en el campo se debió a su contacto imperfecto con la tierra húmeda y seca alternativamente. El recipiente exterior de metal, que disminuye la tendencia a que las corrientes eléctricas de medición pasen a través de la tierra por fuera de la unidad, aparentemente impide un contacto íntimo entre la fibra y las partículas de tierra. En esas condiciones la respuesta de la unidad a los cambios de humedad de la tierra es a menudo errónea e imprecisa.

Se han combinado las características

deseables del bloque de yeso y de las unidades que emplean nailon o fibra de vidrio como medio absorbente en una unidad descrita por R. E. Yonker y F. R. Dreibelbis, del Departamento de Agricultura. Se coloca una capa de fibra de vidrio entre los electrodos y el yeso, impartiendo de ese modo sensibilidad en ambos extremos de humedad y sequía de la gama de humedad de la tierra y proporcionando a la vez un buen contacto entre la tierra y la unidad. El doctor Bouyoucos ha modificado sus métodos



Unidades de resistencia para mediciones de la humedad de la tierra. (A la izquierda, "Fiberglass". Al centro, yeso. A la derecha, nailon).

moldeando una unidad completa de nailon dentro de un bloque de yeso. Es posible obtener así un aumento de sensibilidad en el extremo húmedo de la gama de humedad de la tierra sin sacrificar la precisión en el extremo de sequía de la misma.

Las unidades de resistencia eléctrica para medir la humedad de la tierra pueden calibrarse también en términos de tensión o disponibilidad de humedad. La sensibilidad de las mediciones depende de la atracción relativa al agua de la tierra y de los materiales del bloque a diferentes contenidos de humedad. Las unidades de nailon son más sensibles a tensiones menores de 2 atmósferas, pero los bloques de yeso funcionan más eficazmente entre 1 y 15 atmósferas. Las unidades de fibra de vidrio funcionan satisfactoriamente en toda la gama de tensión de humedad disponible para las plantas. Sin embargo, ninguna de las unidades de resistencia es tan sensible como los tensiómetros dentro de la gama de tensión de una atmósfera.

Una objeción seria para el empleo del yeso como medio abosrbente es su poca duración. Si la tierra está saturada de agua o si se hacen frecuentes aplicaciones de ella en tierras de contextura gruesa, puede desintegrarse una unidad en una sola estación. Se obtuvo una mejoría en la duración de los bloques cuando el doctor Bouyoucos empleó yeso impregnado con resina de nailon soluble en alcohol.

Los métodos de resistencia eléctrica para la medición de la humedad de la tierra generalmente son sensibles a las sales que se encuentran en su perfil, siendo más sensibles las unidades de fibra que las hechas de yeso. Estas últimas contienen una solución saturada de sulfato de cal cuando se humedecen, y una concentración de sal inferior a la que hay en el bloque sólo produce ligeros efectos en la resistencia de la unidad.

La temperatura afecta también las lecturas de resistencia de todas las unidades, pero la magnitud de los cambios de resistencia es pequeña comparada con otras causas de variación. Sterling A. Taylor y sus ayudantes del Colegio Agrícola del Estado de Utah, encontraron que las variaciones entre los bloques de yeso se deben principalmente a dos causas, variaciones fortuitas entre los bloques y derivaciones de calibración, siendo aproximadamente de 15% el coeficiente de variación entre los bloques. Esa variación podría disminuirse seleccionando unidades que no difieran en más de 50 ohms después de sumergirse en agua. Las derivaciones de calibración de algunas unidades producen cambios de tensión hasta de una atmósfera en una sola estación. La magnitud del cambio depende del número de intervalos de secado y del número de días entre cada uno de ellos. Los cambios de calibración fueron mayores en el extremo húmedo de la gama de humedad (valores de baja resistencia) que en el extremo seco de la misma. Las unidades tratadas con resina de nailon fueron más resistentes a

los cambios de calibración, volviéndose considerablemente más estables después de 10 ciclos de humedecimiento y secado. Las unidades de nailon y fibra de vidrio son relativamente estables en comparación con los bloques de yeso o los impregnados de resina.

Después de extensos estudios de los diversos métodos de medición de la humedad de la tierra en el campo, los investigadores han concluido que la causa principal de variación consiste en verdaderas diferencias en el contenido de humedad de la tierra. La aplicación desigual de agua, la remoción diferencial de agua por una cosecha, las variaciones en contextura, las fluctuaciones en las proporciones de infiltración causadas por las hendiduras y la consolidación causada por los implementos de labranza, sellado de la superficie de la tierra por las lluvias y otros factores, contribuyen a la variabilidad de la humedad y a los errores de muestreo de campo. No parece probable en el muestreo de campo relacionado con la humedad en la mayoría de las tierras, la posibilidad de disminuir el coeficiente de variabilidad más allá de un 10% por medio de procedimientos gravimétricos. Por lo tanto, podría usarse en el campo cualquier método indirecto que se aproxime a esa precisión, y en esta categoría se hallan los tensiómetros y los bloques de yeso. Se necesitan estudios ulteriores de las unidades que emplean una combinación de yeso y tela para precisar su variabilidad.

El método térmico, aunque correcto en principio, no está disponible comercialmente debido a las dificultades encontradas para la construcción de una unidad térmica adecuada. En 1939 B. T. Shaw y L. D. Baver, que entonces se encontraban en la Universidad del Estado de Ohio, introdujeron la idea de que podría usarse la conductibilidad de calor de la tierra para obtener un índice de los cambios en las condiciones de humedad de la tierra. Desde entonces se ha intentado muchas veces diseñar una unidad adecuada para hacer mediciones continuas de campo de la humedad de la tierra.

El diseño original de la unidad requería que el elemento de calentamiento, que consistía de una bobina de alambre de cobre esmaltado, se colocara en contacto directo con la tierra. El instrumento dio buenos resultados en el laboratorio, pero no se obtuvieron resultados satisfactorios con las instalaciones de campo, debido a las dificultades de contacto entre la unidad y la tierra causadas por el humedecimiento y secado alternados, y en consecuencia, gran parte de esas unidades han sido diseñadas con un elemento de calentamiento incrustado en un medio poroso.

La técnica de cesto de alambre permite el secado de todos lados de la capa de tierra de media pulgada que rodea a la unidad. El equilibrio entre la tierra y la unidad se obtiene colocando el aparato en una cámara de humedad durante 19 horas, después de un periodo de secado de 5 horas. Se remueve periódicamente todo el sistema de la cámara de humedad y se pesa, y al mismo tiempo se anota la resistencia de la unidad. Cuando ya no hay pérdida de peso, se hace una determinación final de la humedad de toda la tierra del cesto y se calcula el porcentaje de humedad basándose en el peso del sistema al fin de cada periodo de secado. Debe incluirse en la pérdida total de humedad del sistema la pérdida de peso debida a la remoción de la humedad del bloque.

OTRA TÉCNICA CONSISTE en encerrar las unidades en latas de pintura con tapas de fricción que se colocan en tierras de humedad variable. Los alambres de la unidad se sacan a través de un agujero en la tapa que se sella con algodón y cera. Se toman lecturas periódicas bajo condiciones constantes de temperatura hasta que no se note cambio en la resistencia de la unidad. Las determinaciones de humedad hechas entonces, pueden corelacionarse con la resistencia para obtener una curva calibrada. Este método no es apropiado para la calibración de una sola humedad. Sin embargo, es conveniente cuando hay que emplear un gran número de bloques semejantes.

Las unidades de resistencia pueden calibrarse para que den lecturas de la tensión de humedad en la tierra, con el apa-

rato de placa de presión y membrana de presión diseñado por el doctor Richards y sus asociados. Se obtiene la relación entre la resistencia y la tensión colocando las unidades en una tierra de contextura media con bajo contenido de sales solubles. Después de que la tierra y las unidades se colocan en la membrana permeable de la celda de extracción y se saturan de agua, se aplica al sistema una presión (o succión) determinada. Ocurre entonces un flujo hacia afuera del agua en la tierra y en los bloques, hasta que se obtiene un equilibrio con la presión (o succión) aplicada. Cuando se ha determinado la resistencia de las unidades, se aumenta la presión aplicada, continuando el procedimiento hasta que haya disponible un número suficiente de puntos a determinadas succiones para obtener una curva de calibración. En el laboratorio y en el campo pueden obtenerse calibraciones semejantes, dentro de la gama de tensión de 0 a 0.85 de atmósfera, por medio de un tensiómetro instalado cerca de la unidad de resistencia.

Dentro de las limitaciones mencionadas, las unidades de resistencia calibradas en términos de tensión proporcionan una indicación de la humedad disponible para una cosecha. Como esa humedad disponible se relaciona con la fuerza o tenacidad con que la tierra detiene el agua, no necesita determinarse el contenido de humedad, y, por lo tanto, podría aplicarse teóricamente a todas las tierras una sola curva de calibración de las unidades de resistencia, independientemente de su contextura. Sin embargo, como ya lo hice notar, los factores tales como concentración de sal, derivación de calibración y variabilidad entre las unidades, afectan la relación existente entre la resitencia y la tensión y deben tenerse en cuenta si se desea interpretar correctamente las lecturas.

LAS APLICACIONES PRÁCTICAS de los implementos para medir la humedad deberían ser de especial interés para todos los agricultores que emplean riegos, pero no sucede así. Hay varias razones para esta falta de interés entre algunos agricultores: El agua no está disponible en muchos proyectos de riego cuando más se necesita, y un agricultor tiene que esperar su turno para recibir agua a intervalos determinados, estando obligado a hacer riegos más o menos a base de calendario. Cuando el agua queda disponible para su granja, tiene que utilizar todo el volumen de la corriente, lo que a menudo hace necesarios los riegos de día y de noche para llevar a cabo el trabajo. En esas condiciones, los agricultores no pueden usar con ventaja los medidores de humedad como guía científica para los riegos. Igualmente tienen que proyectarse los riegos para que se ajusten a las demás operaciones de labranza, y, por tanto, un agricultor podría necesitar regar una cosecha antes de lo necesario porque espera recolectar heno la siguiente semana. Finalmente, algunos agricultores se muestran reacios a utilizar hasta los medios más sencillos, un tubo de prueba o una pala, para examinar las condiciones de humedad antes y después de los riegos, y menos querrían usar un instrumento aparentemente complicado.

En sitios en que debe bombearse el agua desde grandes profundidades y que los suministros son limitados, se está popularizando el empleo de medidores de humedad como guía para efectuar los riegos y para la conservación del agua.

Hay ya disponibles en el comercio varios medidores de humedad con unidades de resistencia. Los que utilizan un ojo eléctrico para indicar el punto cero son difíciles de leer durante el día y no se adaptan bien para usos de campo.

El doctor Bouyoucos diseñó un puente de resistencias dotado de audífonos para medir la resistencia de los circuitos que contienen una capacitancia considerable. Este instrumento es esencialmente un puente de Wheatstone de gran precisión y solidez, pudiendo hacerse rápida y fácilmente mediciones de campo sin que sean necesarios conocimientos técnicos. Una lectura sólo requiere unos cuantos segundos y un técnico puede hacer varios cientos de determinaciones en un día. Sin embargo, no se recomienda el instru-

mento para uso general por los agricultores.

El funcionamiento de la unidad térmica se basa en el principio de que la conductibilidad de calor del agua de la tierra es mucho mayor que la de la tierra misma. Entonces, si se pasa una corriente constante a través de un elemento de calentamiento durante un periodo determinado, la cantidad de calor disipada por la unidad depende de la cantidad de agua que se encuentre presente en el medio poroso o tierra. Como la conductibilidad de calor es elevada en las tierras húmedas, el elemento se conserva frío y tiene una resistencia relativamente baja. A medida que la tierra se seca, la conductibilidad de calor del agua de la tierra se hace menor y la subsecuente elevación de temperatura del elemento produce un aumento correspondiente de la resistencia. La relación entre la resistencia y el agua de la tierra proporciona una medida indirecta de la humedad de la tierra.

Se han usado también termistores o sea resistencias térmicamente sensibles, como una combinación de fuente de calentamiento y resistencia en vez de una bobina de alambre de cobre. Sin embargo, con este instrumento se necesitan correcciones de temperatura y no se han solucionado completamente algunos problemas de diseño. Los termistores se han adaptado también para medir la elevación de temperatura de un indicador sensible al calor (termistor) a cualquier distancia predeterminada del elemento de calentamiento. Los miembros de la Administración de Aeronáutica Civil de Indianápolis, han hecho grandes esfuerzos para diseñar una unidad térmica de este tipo que sea fácilmente manejable. Se han probado y evaluado más de 50 celdas de humedad de diferentes diseños. Algunas de las unidades tuvieron aplicaciones limitadas, pero ninguna fue completamente satisfactoria en toda la gama de contenidos de humedad encontrados tanto en las utilizaciones de ingeniería civil como agronómica. El principal obstáculo no solucionado aún consiste en encontrar un material permanentemente poroso con una distribución adecuada del tamaño de los poros en el que pueda incrustarse un dispositivo sensible al calor sin dañar el elemento.

Se hizo posible el desarrollo de un método de neutrones cuando hubo disponibles materiales radioactivos. Los núcleos de hidrógeno son eficaces para disminuir la energía y la alta velocidad de los neutrones rápidos. La colisión y esparcimiento de neutrones que se mueven hacia afuera de la fuente radioactiva, hace que algunos de ellos vuelvan a esa fuente o a su vecindad inmediata en forma de neutrones lentos. Por lo tanto, mientras hay en la tierra mayor cantidad de átomos de hidrógeno, será mayor el número de neutrones lentos que se encuentren presentes en el sistema. Como la mayor parte de los núcleos de hidrógeno ocurren en el agua, puede medirse el número de neutrones lentos correlacionándolo con la cantidad de agua en la tierra.

Desde los trabajos originales de D. J. Melcher y sus ayudantes, que cooperaron con la Administración de Aeronáutica Civil, se ha intentado adaptar el método de neutrones para las mediciones de humedad de la tierra en el campo. Los estudios hechos por S. A. Taylor y sus ayudantes con equipo portátil, indican que la precisión del método no es tan buena como la que se obtiene con el empleo de tensiómetros o unidades de resistencia cuidadosamente calibradas.

Las ventajas de método de neutrones que son dignas de mención incluyen su instalación de campo con un disturbio mínimo en la tierra y su sensibilidad en toda la gama de humedad disponible. Las mediciones de humedad en el campo se hacen ordinariamente en tubos de acceso de metal de un diámetro aproximado de una pulgada, cerrados en su fondo. Esos tubos se colocan en la tierra a la profundidad deseada, en agujeros hechos con una barrena de tierra de una pulgada. Cuando se hacen mediciones se baja dentro del tubo un probador de humedad que consiste de la fuente de neutrones y de una cámara de exposición. Como los neutrones atraviesan fácilmente el tubo de metal, la exploración de la humedad del perfil puede hacerse levantando o bajando el probador dentro del tubo. El volu-

men de tierra que contribuye al retorno de los neutrones lentos depende del contenido de humedad. El radio de influencia es menor cuando la tierra está húmeda que cuando está seca, y como el método de neutrones proporciona una medida indirecta de la humedad de la tierra, es indispensable tener una curva de calibración.

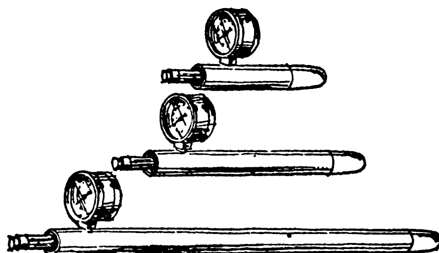
En todos los tipos de instrumentos es necesario calibrar las unidades de humedad a fin de obtener una indicación del contenido de humedad de la tierra. Una desventaja de casi todos los medios de calibración consiste en el empaque artificial de muestras fragmentadas de tierra para simular condiciones de campo. Deben verificarse siempre en el campo las relaciones entre resistencia y humedad derivadas de las calibraciones de laboratorio. La calibración de unidades de campo debe hacerse cuando se está removiendo la humedad de la tierra por las raíces de las plantas que transpiran activamente. En esas condiciones las unidades responden rápidamente a los cambios en el contenido de humedad de la tierra y es más probable que reflejen la verdadera curva de calibración de la tierra.

La selección de un método de laboratorio para calibrar las unidades de humedad depende en cierto modo del individuo y de las facilidades disponibles. Algunos investigadores creen que sólo pueden hacerse calibraciones precisas cuando las unidades se colocan en un recipiente lleno de tierra permeabilizada con las raíces de plantas en crecimiento. Se puede obtener una mejor simulación de las condiciones de campo utilizando este procedimiento, pero requiere mucho tiempo si se prolonga durante varios ciclos de secado. Otros han empleado técnicas más rápidas enterrando las unidades en recipientes de metal de poca profundidad llenos de tierra, o en un cesto de alambre lleno de tierra. En la técnica del recipiente de metal poco profundo sólo se utiliza un octavo de pulgada de la tierra que rodea al bloque para obtener la determinación de humedad después de que el secado de la tierra ha avanzado algunas etapas. Los valores de resistencia determinados al quitar la tierra de la humedad se correlacionan con el contenido de humedad de las muestras de tierra obtenidas durante varios periodos de secado.

Un medidor de humedad diseñado por el doctor Coleman para usarse con unidades de "Fiberglass", consiste de un óhmetro de corriente alterna que funciona con una batería. Las medidas de resistencia se hacen relacionando las lecturas observadas en un micrómetro con la curva de calibración. Este instrumento tiene la sensibilidad adecuada para todas las unidades de resistencia en condiciones normales de utilización de campo. Es sencillo y no requiere audífonos.

El doctor Bouyoucos perfeccionó un instrumento diseñado especialmente para uso de los agricultores. Funciona bajo el principio de un óhmetro y está calibrado para dar lecturas del porcentaje aproximado de humedad disponible cuando se usa con bloques de yeso. Cuando se conecta a los alambres de un bloque el movimiento de una aguja a través de un cuadrante, indica la cantidad de disminución de agua de la tierra. Es sencillo de manejar; pero no es completamente satisfactorio para tierras de contextura áspera, de turba, o vegetales, así como para tierras que tengan un contenido de sal relativamente alto.

Los cultivadores comerciales están usando con éxito los tensiómetros dotados con medidores de vacío. Se han reducido al mínimo los problemas de construcción inherentes en los diseños originales, utilizando materiales plásticos, y con un cuidado razonable deben dar buen servicio por muchos años. Se adaptan es-



Tensiómetros de medidor de vacío

pecialmente para usarse en tierras de contextura media y áspera.

UNA INSTALACIÓN DE CAMPO ADECUADA para el control de riegos cuesta de 150 a 300 dólares, dependiendo del tipo de medidor y número de unidades de resistencia que se usen. Los medidores de humedad cuestan de 65 a 200 dólares, y las unidades de resistencia cuestan de 1.30 a 3.50 dólares cada una. Los bloques de yeso son los menos costosos y más prácticos de todas las unidades de resistencia disponibles en el comercio. Los tensiómetros, que cuestan aproximadamente 25 dólares cada uno, constituyen en sí medidores de humedad completos que no necesitan implementos adicionales para indicar las condiciones de humedad de campo y sólo se necesita un vistazo para obtener la lectura de la aguja en el medidor de vacío.

El riego automático de céspedes, campos de *golf* y cosechas de gran valor que se cultivan en el campo o en los invernaderos bajo sistemas permanentes de aspersión, es ahora posible con los equipos diseñados para tal objeto. Hay dos tipos de instalaciones disponibles en el comercio. Uno implica el uso de una unidad de resistencia de nailon conectada a una válvula de solenoide controlada eléctricamente. El otro tiene un hidrostato y una válvula de control remoto que funciona hidráulicamente. El instrumento que emplea la unidad de nailon fue diseñado por el doctor Bouyoucos para usarse en los invernaderos, pero podría adaptarse a otros usos de campo. El método requiere que se mantenga una corriente constante de electricidad entre los electrodos de la unidad de resistencia. A medida que la tierra se seca y que aumenta la resistencia de la unidad, se llega a un punto en que el control eléctrico hace funcionar la válvula de solenoide instalada en la línea de agua del sistema elevado de aspersión. Cuando ha penetrado a la tierra el agua suficiente hasta la profunidad de la unidad, baja la resistencia y se detiene automáticamente el flujo de agua.

El doctor Richards inventó un control automático de riego que utiliza un hidrostato y una válvula hidráulica de control remoto. Fue diseñado especialmente para el riego de céspedes dotados con sistemas subterráneos de aspersión. Los controles automáticos funcionan hidráulicamente y no se necesita ninguna fuente eléctrica de energía. El hidrostato está dotado de un vaso poroso que funciona como tensiómetro. Cuando la tensión o succión del agua de la tierra se acerca a un límite predeterminado, se crea un vacío que abre una válvula en el hidrostato y permite que fluya el agua a través de un pequeño tubo de cobre conectado a la válvula hidráulica de control remoto en la línea de rociadores. La reducción de la presión de agua abre la válvula hidráulica de control remoto y permite que el agua fluya al sistema de riego. Los rociadores continuarán funcionando hasta que se detengan por medio de un mecanismo interconstruido de tiempo que cierra la válvula de control remoto después de un periodo predeterminado. Si se desea, puede hacerse funcionar a mano el hidrostato.

HOWARD R. HAISE *es técnico especialista encargado de las actividades de investigación sobre requerimientos y prácticas de riego de la Sección Occidental de Manejo de Tierras y Aguas de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas de los Servicios de Investigación Agrícola, y ha recibido tres diplomas de la Universidad del Estado de Ohio, habiendo estado más de 12 años con el Departamento de Agricultura.*

Cuándo hay que regar y cuánta agua hay que emplear

Sterlink A. Taylor y C. S. Slater

LAS RAÍCES DE LAS PLANTAS no crecen en la tierra seca. El agua de las lluvias o de los riegos que no humedece la tierra seca en toda su profundidad producirá raíces poco profundas que a menudo son indeseables. Si sólo se moja la parte superior de la tierra seca, aumentan las pérdidas por evaporación y se retrasa

el crecimiento de las plantas, y todo ello con más rapidez que si se humedece la totalidad de la zona de raíces.

Tanto la escasez como la abundancia de agua en la zona de raíces producen efectos indeseables en las cosechas y desperdician el agua que puede necesitarse para otros fines o en otros sitios. Por lo tanto, es sumamente deseable aplicar el agua suficiente para humedecer la zona de raíces sin que se produzcan pérdidas excesivas por filtración profunda, excepto cuando hay que lavar de la tierra las sales perjudiciales.

El agua que penetra en la tierra forma un frente de humedad bien definido. La tierra seca es más lenta para mojarse que la húmeda, y el frente húmedo queda más bien definido en las tierras más secas. En consecuencia, cuando se aplica una cantidad limitada de agua a la tierra seca, el agua se distribuirá irregularmente y se humedece la superficie de la tierra aunque el subsuelo permanezca seco.

El agua continuará moviéndose de la tierra húmeda a la seca durante largo tiempo, pero gran parte de ese movimiento terminará después de un día o dos. Se llama capacidad de campo de la tierra a la cantidad de agua retenida después de un día o dos de desagüe y que se expresa como porcentaje de peso o volumen de la tierra seca, sin que sea una cifra exacta, porque puede continuar el movimiento del agua. El grado de sequía antes de la aplicación del agua, así como la estructura o contextura, causan también cambios en la cantidad de agua que retiene la tierra.

Se requiere cierto trabajo para remover el agua retenida por la tierra. Se llaman curvas de liberación de humedad a las que relacionan la cantidad de agua retenida por una tierra determinada a diferentes contenidos de humedad con el trabajo necesario para remover una unidad de agua en cada nivel. Se necesita más trabajo a medida que la tierra se vuelve mas seca, y como una fuerza dada que actúe a distancia determinada produce trabajo, se usa la fuerza o presión por unidad de área como medida de la retención de agua por la tierra, y se llama tensión de humedad a esa fuerza de retención.

Cuando se mide en el campo, el agua se retiene aproximadamente a 1.5 libras por pulgada cuadrada o un décimo de atmósfera de tensión cuando la tierra está a su capacidad de campo. Cuando se miden en el laboratorio muestras que han quedado sujetas a disturbios, se obtiene el mismo contenido de humedad aproximadamente a 5 libras por pulgada cuadrada o un tercio de atmósfera. Esa diferencia resulta probablemente de un cambio en los límites del flujo hacia afuera. El flujo de agua de la tierra que ha sufrido disturbios a una membrana o placa de cerámica difiere considerablemente del flujo en la tierra que no ha sufrido disturbios.

Aunque las raíces de las plantas absorben libremente el agua de las tierras que se encuentran a capacidad de campo, el trabajo requerido para remover el agua se vuelve progresivamente mayor a medida que la tierra se hace más seca y aumentan las fuerzas de retención. Las diferentes tierras liberan cantidades diferentes de agua por cada incremento de trabajo. Siempre que la humedad de la tierra disminuye hasta el punto de que se requiera un gran cambio en el trabajo para remover sólo pequeñas cantidades de agua, las plantas sufrirán rápidamente los efectos de la deficiencia de humedad, y el agua debe aplicarse antes que la gran mayoría de la tierra en la zona de raíces llegue a ese punto o que se detenga el crecimiento de las plantas.

SE DICE QUE LAS TIERRAS ESTÁN en el punto permanente de marchitamiento cuando su contenido de humedad se agota hasta causar el marchitamiento de las plantas sin que éstas se recuperen cuando se colocan en una atmósfera húmeda en la oscuridad. Esto constituye el límite más bajo de humedad disponible, y al igual que la capacidad de campo, el punto de marchitamiento no puede determinarse exactamente ni puede encontrarse en algunas tierras, especialmente en las saladas. En muchas tierras el punto permanente de marchitamiento queda situado dentro de la gama de tensión de humedad de 10 a 20 atmósferas, y frecuentemente se considera que el porcentaje

de humedad de 15 atmósferas equivale al punto permanente de marchitamiento. Se necesita aproximadamente 45 veces más trabajo para remover la humedad en el punto de marchitamiento que en el punto de capacidad de campo. Aunque se considera que toda el agua, desde la capacidad de campo hasta el punto permanente de marchitamiento, queda disponible para las plantas, éstas se marchitan temporalmente mucho antes de que se llegue a ese punto.

Generalmente la tierra puede considerarse como un depósito de humedad cuyo límite superior se encuentra a un contenido de humedad que corresponde a la capacidad de campo y cuyo límite inferior queda en el punto permanente de marchitamiento. Las raíces son semejantes a una bomba con muchas succiones que pueden penetrar profundamente en el depósito conforme crece la cosecha. A medida que la tierra se vuelve más seca se necesita más energía para bombear el agua hacia afuera, ya que se va agotando en el depósito. En este punto existe una diferencia precisa e importante entre un verdadero depósito y la tierra. El agua de un depósito es libre de fluir hacia la succión de la bomba y se mueve más rápidamente de lo que ésta puede extraerla. El agua de la tierra no es libre de moverse hacia las raíces de las plantas y se mueve mucho más lentamente de lo que las raíces y las plantas pueden removerla. Las plantas pueden marchitarse entonces para recuperarse más tarde cuando disminuye la demanda.

Las tierras gruesas transmiten el agua más rápidamente que las de contextura fina cuando el agua se retiene a tensiones bajas. Sin embargo, a tensiones mayores el movimiento es más rápido en las tierras de contextura fina.

LA FERTILIDAD DE LAS TIERRAS afecta la frecuencia de los riegos y la cantidad de agua que hay que aplicar, y a menos que haya disponibles suficientes substancias nutritivas para que las plantas produzcan un crecimiento máximo en todo tiempo, no se ganará nada con mantener una humedad disponible a bajas tensiones. Puede acumularse el nitrógeno en la tierra durante los periodos de crecimiento lento cuando es elevada la tensión de humedad, y entonces, cuando se aplica el agua, la cosecha puede utilizar rápidamente el nitrógeno acumulado. Si se mantiene una humedad constante a baja tensión de modo que nunca se limite el crecimiento, el nitrógeno puede quedar disponible aproximadamente en la misma proporción y los rendimientos de la cosecha serán más o menos iguales. Las plantas podrían mostrar síntomas de deficiencia de nitrógeno en un caso, pero no en el otro, y la frecuencia más conveniente de los riegos sólo puede producir los máximos beneficios a la cosecha si hay en la tierra un suministro de nitrógeno que sea fácilmente disponible.

A VECES LOS PERIODOS DE ESCASA HUMEDAD durante la etapa vegetativa demoran la maduración de una cosecha. Si el maíz húmedo se conserva húmedo y se fertiliza con grandes cantidades de nitrógeno, habiendo cantidades suficientes de los demás elementos nutritivos, se madurará hasta 2 semanas antes que el maíz al que se aplique una fertilización escasa, aunque también se conserve húmedo constantemente. Si la tensión de humedad aumenta ligeramente durante la rápida etapa vegetativa inicial de crecimiento, no ocurre la maduración temprana y se disminuyen los rendimientos.

LAS PLANTAS ABSORBEN MÁS FÁCILMENTE el fósforo de las tierras húmedas que de las secas. Como no hay un movimiento apreciable del fósforo en la tierra, se absorbe de la misma profundidad relativa en donde se aplica. La práctica común consiste en aplicar el fertilizante cerca de la superficie. Si esto es así y si el fósforo es el elemento limitativo, los riegos frecuentes y ligeros pueden producir un crecimiento fuera de toda proporción con su valor en condiciones ideales.

LAS COSECHAS RESPONDEN DE MODO DIFERENTE a la tensión de humedad en diversas etapas de crecimiento. Cuando el crecimiento vegetativo es rápido, las plantas reaccionan rápidamente a la escasez de humedad. Si la tierra se seca en este

punto, no se desarrollan completamente las hojas nuevas, produciéndose una disminución general en la suculencia. Cuando el agua queda nuevamente disponible, puede renovarse el crecimiento rápido; pero las hojas y tallos pequeños que se produjeron bajo una considerable escasez de humedad, nunca se desarrollan completamente y la planta rara vez puede compararse con las que no sufrieron esa escasez. Las papas son muy sensibles a la humedad de la tierra desde que se siembran hasta que los tubérculos están completamente formados. Las remolachas de azúcar son más sensibles durante la siembra, y al igual que muchas otras cosechas, conservan esa sensibilidad hasta que la proporción de crecimiento se retrasa con la madurez. El maíz de campo necesita agua a bajas tensiones desde la siembra hasta la etapa de médula dura para lograr el rendimiento y crecimiento máximos. Es particularmente sensible a la escasez de humedad durante la etapa de filamentos y poco tiempo después de ella, y las pequeñas gramíneas son semejantes al maíz. Las variaciones de humedad sólo pueden producir pequeñas diferencias en los rendimientos durante el periodo de maduración.

Los trasplantes de tabaco resisten la escasez de humedad durante periodos relativamente prolongados de deficiencia de humedad; pero cuando se aplica agua en abundancia una sola vez para la iniciación de un rápido crecimiento vegetativo, se requiere un suministro constante de agua a baja tensión para que la cosecha se desarrolle debidamente.

Los duraznos son especialmente sensibles durante el periodo de rápido crecimiento del tamaño de los frutos. Las manzanas crecen en proporción casi uniforme y necesitan un suministro constante de humedad que esté fácilmente disponible.

La conservación de un bajo nivel de humedad asegura el bajo crecimiento vegetativo, pero no siempre proporciona la calidad y cantidad necesarias en las cosechas de mercado cuando se recolectan las frutas y semillas. Puede mejorarse la calidad de las manzanas y peras restringiendo los suministros de agua de riego durante el periodo de maduración, necesitándose de nuevo el agua cuando se acerca la recolección, para evitar la desecación y daños a los botones frutales de la siguiente cosecha durante el invierno.

Las cosechas de mercado tienen que cultivarse a elevados niveles de humedad para obtener la suculencia y frescura exigidas por los mercados. Esas cosechas responden bien a los riegos frecuentes y ligeros, porque tienen raíces relativamente poco profundas. Las cosechas con raíces profundas, tales como la alfalfa y las cosechas de huerto, pueden dar buenos productos con riegos abundantes y poco frecuentes, considerándose como intermedias muchas cosechas anuales, tales como maíz, cereales de grano y remolachas de azúcar.

LAS PLANTAS TIERNAS QUE SÓLO CUBREN parcialmente el terreno tienen sistemas muy pequeños de raíces y necesitan el agua tanto como si estuvieran maduras, no debiendo dejarse que sufran escaseces de agua con la idea errónea de que en esa forma se forzará a sus sistemas de raíces a que penetren hasta abajo en tierra más profunda. Las raíces de las plantas penetran más profundamente en tierras que se conservan húmedas, pero no saturadas, durante las primeras etapas de crecimiento. Es cierto que el sistema de raíces es capaz de crecer rápidamente durante esta etapa, pero se disminuye el crecimiento tanto de las raíces como de los brotes durante cualquier periodo en el que haya deficiencias de humedad en la porción de tierra ya ocupada por las raíces, y la planta que se encuentra en esas condiciones sufre un retraso permanente debido a ellas. A veces se deja que esas plantas retrasadas crezcan mayor tiempo que las demás, y pueden llegar a producir un rendimiento igual; pero ordinariamente esto no sucede.

El agua debe aplicarse durante un periodo tan prolongado como sea necesario, para suministrar una cantidad suficiente de agua a la tierra que permita humedecer la tierra seca sin que se muevan cantidades apreciables de agua en la parte húmeda que queda debajo de ella. A fin de lograrlo, deben suspenderse los riegos

un poco antes de que toda la zona de raíces quede bien mojada. El desagüe subsecuente en las 24 horas siguientes será suficiente para humedecer el resto de la tierra en la zona de raíces sin que ocurra un exceso de filtración profunda.

Las aplicaciones de agua deben ser lo suficientemente lentas para evitar la erosión y el desperdicio del agua debido al desbordamiento. Muchas tierras aceptan agua en proporciones que varían entre un cuarto de pulgada y una pulgada por hora, y las proporciones elevadas de infiltración favorecen el empleo de sistemas de riego por aspersión. En los riegos de surcos, la elevada infiltración hace que penetre mayor cantidad de agua a la tierra que se encuentra en el extremo superior del campo antes de que se cubra toda el área, y en casos extremos produce una penetración excesiva en ese lugar, siendo todavía deficiente el riego en el extremo inferior.

A PESAR DE LAS MUCHAS VARIANTES puede determinarse el número de veces que deba aplicarse el agua de riego. Para hacerlo en forma precisa hay que conocer la profundidad de la tierra de la que se extrae la humedad, así como la presión de humedad a esa profundidad.

Puede determinarse la profundidad de la que se extrae el agua utilizando cualquiera de los diversos métodos para medir la humedad de la tierra.

Si se hacen determinaciones a varias profundidades y a intervalos regulares, pueden observarse las proporciones variables a que se extrae la humedad de las diferentes profundidades. Si no se encuentran presentes raíces activas de plantas, la proporción de remoción de humedad es lenta. La tensión de humedad puede determinarse al mismo tiempo que la profundidad de las raíces. Los diversos instrumentos indican la tensión directamente o están calibrados para registrar tensión o contenido de la humedad que pueden convertirse a tensiones empleando curvas de liberación de humedad.

Cuando llega de nuevo el tiempo de regar, se encontrará todavía agua disponible en la zona de raíces en cantidades apreciables, debido a la forma en que la extraen las cosechas. Las plantas absorben una cantidad desproporcionada de agua de la parte superior de la tierra en donde es mayor la concentración de raíces, y la evaporación remueve también el agua con más facilidad de las tierras superficiales, así que cuando se ha removido el 60% del agua disponible de la cuarta parte superior de la zona de raíces, el agotamiento de toda la zona puede ser menor de 30%. Las cantidades relativas variarán con las cosechas, el clima y las condiciones de la tierra, pero se llega primero al punto de marchitamiento en la parte superior de la tierra.

Los riegos son necesarios cuando sólo se restringe una parte del sistema de raíces para suministrar agua a los tallos y a las hojas.

SE OBTIENEN LOS MEJORES RESULTADOS con los riegos en la mayoría de las cosechas si el agua se aplica antes de que el promedio de tensión en la zona de extracción rápida de humedad se eleve a más de 4 atmósferas, y si se interrumpen los riegos siempre que la tensión sea inferior a media o una atmósfera. Pueden colocarse a varias profundidades los instrumentos que indican la tensión o las unidades de resistencia para medir la humedad de la tierra, obteniéndose lecturas periódicas para indicar las condiciones de humedad que representan una gama aproximada de 30 a 80% de la retención total de agua entre la capacidad de campo y el porcentaje permanente de marchitamiento en muchas tierras.

Una generalización comúnmente aceptada exige los riegos cuando se agota el 60% del agua disponible en la zona de raíces. Si las aplicaciones de agua se limitan exclusivamente a los riegos, los campos pueden regarse en serie a medida que se acercan a ese nivel. Sin embargo, las lluvias que ocurran en cualquier tiempo antes o después de la estación de crecimiento, pueden producir aproximadamente el mismo nivel de humedad en toda el área pudiendo ser necesarios los riegos más tarde.

Si el agricultor tiene un gran número

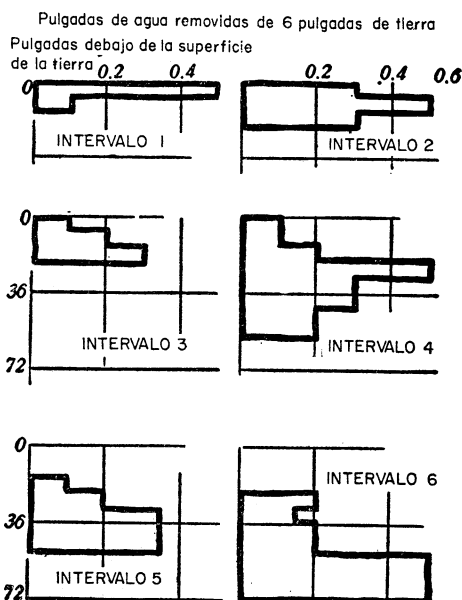
de campos y riega diariamente uno o más de ellos, el nivel de humedad en el último puede aproximarse o llegar al punto de marchitamiento para cuando le corresponda el riego, por lo que éste tiene que iniciarse con la debida anticipación para permitir que se llegue al último campo antes de que se agote completamente el agua disponible en el mismo. Esta es la razón para regar dentro de una gama aproximada del 30 al 80% del agotamiento. Si esa gama representa 3 pulgadas de agua disponibles en la zona de raíces y si la utilización de consumo es de 0.3 de pulgada y área, quedan aproximadamente 10 días para completar los riegos, y la humedad de la tierra rara vez llegará hasta el punto permanente de marchitamiento antes de que se apliquen riegos, si se usa un buen método que indique con anticipación las condiciones de agua de la tierra.

Las tierras muy arenosas pueden tener una capacidad menor de una pulgada disponible por pie de profundidad de las mismas. Las arcillas y tierras orgánicas pueden retener 2.5 pulgadas de agua o más. La gama para la gran mayoría de las tierras comprende de una a dos pulgadas por cada pie de profundidad, y para expresar estas cifras como porcentaje de volumen se divide la profundidad del agua retenida por la profundidad correspondiente de la tierra (en pulgadas) y se multiplica por 100.

La cantidad de agua que hay que aplicar para reponer la humedad a cualquier intervalo de profundidad de la tierra puede calcularse substrayendo la cantidad de agua disponible que se encuentre presente de la que retendrá la tierra sin que ocurran pérdidas por filtración profunda. Si se expresa este valor como un decimal del porcentaje de volumen, sólo es necesario multiplicarlo por la profundidad de la tierra en el intervalo de muestreo para convertirlo en profundidad de agua por acre. Si el intervalo de profundidad es de 6 pulgadas y el porcentaje de volumen es de 20, entonces la cantidad necesaria para reponer ese intervalo de 6 pulgadas es de 1.2 pulgadas, y toda cantidad adicional de agua penetrará hasta el siguiente intervalo de 6 pulgadas más bajo. Si ese intervalo requiere un porcentaje de volumen de 15% para reponer su humedad, la cantidad de agua que retendrá es de 0.90 de pulgada. Puede calcularse cada intervalo y sumarse las cantidades para obtener el total necesario para reponer la humedad en toda la zona de raíces.

STERLING A. TAYLOR *es técnico de tierras de la Estación Agrícola Experimental de Utah, a la que se unió en 1949 después de doctorarse en la Universidad de Cornell.*

C. S. SLATER *es conservador decano de tierras de la Rama de Conservación de Tierras y Aguas del Servicio de Investigación Agrícola, y ha estado con el Departamento de Agricultura desde 1929.*



Patrones de remoción de agua en marga de Millsville durante intervalos sucesivos de tiempo después de un riego completo. El agua se remueve primeramente de la tierra superficial, y a medida que disminuye la humedad se hace más difícil lograr, y la remoción ocurre en las capas sucesivas más profundas. El total de agua removido en cualquier intervalo de tiempo depende del clima y de la etapa de crecimiento de la planta.

El riego del tabaco, cacahuate y frijol soya

D. M. Whitt y C. H. M. van Bavel

EL TABACO NO ES ESPECIALMENTE sensible a la sequía y se obtienen rendimientos aceptables aun en los años más secos, aunque de calidad inferior. Sin embargo, en 1953 se duplicó la superficie regada en varios Estados.

La razón para el gran interés en el riego del tabaco es su elevado valor por acre, que es mayor que el de cualquiera otra cosecha principal de campo. Un aumento de rendimiento o calidad de sólo 5% tiene un valor de 30 a 60 dólares por acre.

Las necesidades de humedad del tabaco no son muy diferentes de las de otras cosechas.

El factor principal es la época del año, y, por lo tanto, los sitios donde el tabaco puede sembrarse temprano, tales como Florida y South Carolina, tienen una ventaja natural, porque las pérdidas por evaporación durante abril y mayo son mucho menores que en junio y julio y es menos probable que ocurran sequías.

Carecemos de datos precisos sobre la cantidad de humedad que se pierde por evaporación y transpiración en los campos de tabaco. Dependiendo de la localidad, esas pérdidas pueden ser probablemente de 0.10 de pulgada diariamente en abril, 0.14 en mayo, 0.18 en junio, 0.17 en julio. 0.14 en agosto y 0.11 en septiembre. Las proporciones para plantas muy pequeñas son menores y las máximas pueden ser mucho más elevadas que el promedio hasta 0.25 de pulgada diarias en junio y julio. A veces los investigadores dan cifras más altas, pero esos altos valores pueden ser erróneos debido a que no se tiene en cuenta la evaporación lateral o la filtración profunda. No se sabe el efecto que tengan en las pérdidas de agua del tabaco el maduramiento gradual y la recolección de las hojas.

El tabaco tiene raíces poco profundas y se calcula que la profundidad de donde extrae la humedad es de 8 a 18 pulgadas.

Ordinariamente, el clima de la parte oriental de los Estados Unidos de Norteamérica no es tan bueno que puedan mantenerse condiciones apropiadas de humedad en la tierra en una zona de raíces relativamente superficial. Como valor promedio y por vía de ejemplo se puede asumir en las tierras de tabaco una capacidad de almacenamiento de 1.5 pulgadas. Se encontró así que el número de días en que la humedad es menor que el nivel crítico en North Carolina, fue aproximadamente de 33 durante una estación normal de crecimiento. Más de la mitad de esos 33 días ocurren en junio y julio, cuando el tabaco crece con más rapidez y la situación es aún más desfavorable en la mitad de las estaciones.

No se han hecho cálculos semejantes para toda el área oriental, pero es evidente que en la mayoría de los Estados las sequías de verano son un fenómeno regular cuando las zonas de raíces son poco profundas.

Las reacciones del tabaco a los riegos son constantes pero nunca espectaculares, porque el tabaco puede recuperarse de las condiciones de sequía. Puede ocurrir una cosecha bastante normal después de una sequía inicial cuando las plantas son pequeñas. Cuando la cosecha ha crecido totalmente ocurre también cierta cantidad de recuperación cuando a una sequía siguen las lluvias, pero en ese caso se afecta a menudo la calidad en forma adversa. Los experimentos efectuados en Florida, Georgia, North Carolina, Virginia, Maryland y Connecticut, mostraron aumentos en los rendimientos desde menos de 100 libras hasta 400 y 500 libras por acre, o de 5 a 25%

Esos aumentos reflejan tanto la precipitación estacional como los sistemas de riego. En general, no ha habido evidencia de que se obtengan efectos benéficos o ahorros suspendiendo temporalmente el riego del tabaco. Las investigaciones efectuadas en Australia y North Carolina tienden a demostrar que es mejor conservar la tierra a su nivel óptimo de humedad durante toda la estación. La creencia de que los riegos tempranos producirán sistemas de raíces poco profundos, no tiene fundamento científico alguno. Sin

embargo, si las existencias de agua limitan los riegos a sólo un par de aplicaciones, se acepta generalmente que esos riegos deben efectuarse cuando el tabaco llega aproximadamente a las rodillas.

Es considerable el efecto de los riegos sobre la calidad y composición química del tabaco. Este se clasifica, y esa clasificación determina su precio. Los cultivadores y los investigadores han sabido siempre que el tabaco que se produce en años húmedos tiende a ser de calidad muy superior que el que se produce en años secos, y mediante los experimentos de riego podría investigarse más profundamente esa relación.

Varios experimentos han demostrado que el precio del tabaco curado en canalones podría aumentar de 10 a 25% como resultado de los riegos. Hay informes de efectos semejantes en el tabaco empleado para la fabricación de puros y para hojas de envoltura. Las mejorías de calidad se relacionan con los cambios de composición química. A menudo el riego produce una drástica disminución del contenido de nitrógeno y nicotina y un aumento en el contenido de azúcar de las hojas.

Los rociadores se usan casi exclusivamente para los riegos de tabaco. Como ordinariamente el tabaco se siembra en surcos anchos de 3.5 a 4 pies, y el sistema de raíces no es muy extenso, el riego de surcos no permitiría la utilización eficaz de los suministros de agua.

En vista del peligro de "ahogar" el tabaco con las lluvias que siguen inesperadamente a los riegos, los cultivadores prefieren a menudo emplear pequeñas aplicaciones de agua, o sea entre una y dos pulgadas en cada vez. Los costos de operación de un sistema de riego aumentan cuando se hacen aplicaciones frecuentes y ligeras. Cuando las condiciones de tierra no permiten el rápido desagüe, así como en tierras en declive, los surcos deben tener la pendiente adecuada, a fin de que el desagüe superficial sea apropiado. Esto es indispensable, independientemente del uso de los riegos.

Las cantidades excesivas de cloruro (clorina) rebajan la calidad del tabaco. Por lo tanto, no es aconsejable el empleo de aguas saladas o salobres en los riegos de tabaco. Ocasionalmente se presenta ese problema a lo largo de la costa del Atlántico cuando se usa agua superficial. Tierra adentro, el agua de los pozos puede contener cantidades excesivas de cloruro, no habiendo datos exactos sobre el contenido máximo de cloruro de las aguas de riego cuando se emplean para el tabaco, aunque parece seguro que no debe usarse agua que contenga más de 25 partes de cloruro por millón.

Esas aguas de riego depositarían 6 libras de cloruro por acre por cada pulgada de agua de riego. Las recomendaciones actuales para el empleo de fertilizantes, mencionan menos de 30 libras de cloruro por acre para aplicarse al tabaco como fertilizante, y, por lo tanto, en caso de duda, debe analizarse el agua de riego por lo que hace a su contenido de cloruro.

El equilibrio de nitrógeno es un aspecto importante en la producción de buen tabaco, es decir, debe haber suficiente nitrógeno disponible en la tierra para obtener un buen rendimiento, pero no en cantidades que hagan que el contenido de nitrógeno de las hojas sea demasiado alto. El problema se agudiza en el tabaco curado en canalones, aunque ocurre también con otros tipos, las condiciones de humedad de la tierra tienen importancia en relación con el equilibrio de nitrógeno. Actualmente las recomendaciones de fertilizantes constituyen un término medio entre las condiciones de humedad y de sequía. Por lo tanto, en años secos la calidad del tabaco no es muy buena y en años húmedos no se llega al crecimiento máximo. Los riegos ayudan a solucionar este problema, y cuando un cultivador puede mantener condiciones aceptables de humedad de la tierra, sus prácticas de fertilización tienen una base más firme.

Los riegos ayudan también a solucionar otros problemas que se presentan en la producción de tabaco. Uno de ellos consiste en obtener un buen plantío de trasplantes. Los riegos permiten al cultivador sembrar las plantas cuando han llegado exactamente al tamaño deseado, y los riegos efectuados inmediatamente después de trasplantarlas, proporcionan

plantíos mucho mejores y pueden eliminar el tedioso trabajo de regar a mano cada planta. Los experimentos han demostrado que una aplicación de 0.5 de pulgada por las noches, después del trasplante, produce a menudo plantíos de 98 ó 99 %, en comparación con el promedio normal aproximado del 90%. Los plantíos imperfectos ocasionan siempre pérdidas de rendimiento, a pesar de su replantación.

Los riegos permiten la maduración uniforme de las hojas, ventaja que distribuye la carga de trabajo durante la recolección y permite la utilización eficaz de las instalaciones de curado o secado.

Superficie de tabaco regada. (Estimación de 1954)

	Acres	*Porcentaje del total*
Massachusetts	1,000	17.0
Connecticut	3,000	25.0
Virginia	755	.5
Tennessee	1,000	1.0
Kentucky	6,500	2.0
Georgia	1,500	1.5
Florida	2,500	1.2
Indiana	100	.1
Wisconsin	35	0
South Carolina	1,500	1.2
North Carolina	10,000	1.4
Total	27,890	

Después del algodón y el tabaco, los cacahuates constituyen la cosecha monetaria más importante del Sur, y se cultivan extensamente en Georgia, Texas, Alabama, North Carolina, Oklahoma y Virginia. Las condiciones climatológicas más favorables para ellos son las lluvias moderadas durante la estación de crecimiento, sol abundante y temperaturas relativamente altas, obteniéndose los mayores rendimientos en tierras de marga arenosa ligeras y bien desaguadas.

Oklahoma y New Mexico cuentan con extensas superficies sembradas de cacahuates de riego. El área de regadío en Oklahoma ha estado aumentando rápidamente, y la producción está centralizada en el Condado de Caddo, habiéndose añadido riegos en 300 granjas en 1954. Casi todos los cacahuates producidos en New Mexico son de riego.

El agua se aplica en los surcos en New Mexico y principalmente con rociadores en Oklahoma. Las pequeñas superficies regadas en los Estados del Sudoeste lo son por medio de rociadores. Los agricultores adquieren los equipos para emplearlos principalmente en el tabaco, algodón, pasturas u otras cosechas, y los usan en los cacahuates si el agua y el tiempo lo permiten.

Ralph S. Matlock, después de los experimentos que efectuó en la Estación Agrícola Experimental de Oklahoma, calculó que se requieren 25 pulgadas de agua durante la estación de crecimiento para obtener el mejor crecimiento y rendimiento de los cacahuates, y W. J. Vinzant llegó a los mismos resultados en las pruebas que efectuó en el Condado de Roosevelt, en New Mexico. Los requerimientos de agua llegaron al máximo durante la floración y el desarrollo de las vainas, siendo éste el periodo en que se acumula mayor cantidad de materia seca, y necesitándose cantidades adecuadas de agua para obtener los rendimientos máximos.

Una buena práctica que se acostumbra en New Mexico consiste en regar antes de la siembra si es necesario, para asegurar humedad suficiente para la germinación. En esa región la podre de la raíz y del tallo es un problema y la siembra se hace originalmente en una loma alta con arado de doble vertedera. Se han recomendado los riegos antes de que las plantas muestren indicios de marchitamiento y es una buena regla mantener la humedad disponible arriba del 50% en la zona de raíces.

Los cultivadores de Oklahoma han encontrado útiles las predicciones del tiempo con 5 días de anticipación para evitar los excesos de riego.

Los riegos significan la diferencia entre una cosecha o ninguna en New Mexico y en el sudoeste de Oklahoma. Tres cultivadores de Virginia obtuvieron un promedio de aumento de 73% en 1953, y los aumentos en rendimiento variaron de 944 a 1,365 libras de pepitas por acre. La producción normal sin riegos fue de

1,520 libras, comparada con 2,642 libras por acre con agua adicional.

El número de agricultores que emplean riegos en Virginia aumentó a 7 en 1954, y W. L. Blair, Jr., conservador de unidades de trabajo del Distrito de Tierras del Condado de Sussex, que trabajó con ellos, informó que se había obtenido un promedio de aumento de 59% en los rendimientos.

Las raíces de los cacahuates crecen a una profundidad de 2 a 4 pies, habiendo informes de profundidades de 6 pies en las tierras ligeras y arenosas de Georgia. Ese extenso sistema de raíces y su capacidad de absorción de agua, pueden explicar en parte la carencia de extensos riegos de cacahuates en los Estados del Sudeste y en gran parte de Oklahoma.

Superficie de cacahuates regada. (Estimación de 1954)

	Acres	*Porcentaje del total*
Oklahoma	10,000	7.2
New Mexico	5,600	100.0
Virginia	200	.2
Total	15,800	

En los Estados Unidos de Norteamérica el frijol soya se produce principalmente en el Oriente húmedo y en las tierras subhúmedas de las Grandes Planicies. Encabezan la producción los estados de Illinois, Iowa, Indiana, Minnesota, Ohío y Missouri.

La superficie dedicada al frijol soya en las Grandes Planicies ha ido constantemente en aumento. Gran parte de él ha ocurrido en localidades en las que se requieren riegos casi todos los años a fin de obtener la producción máxima.

En 1954 había aproximadamente 73 mil acres de frijol soya de riego, y Arkansas y Nebraska representaban 68,000 acres de ese total.

Las necesidades climatológicas del frijol soya son aproximadamente iguales a las del maíz, pero la sequía los afecta menos que a éste. La diferencia en los efectos del clima se asocia con la polinización. La duración de periodo de floración es mayor en el frijol soya que en el maíz, y una escasez de agua en la etapa de producción de filamentos del maíz puede arruinar la cosecha, mientras que las condiciones de sequía pueden continuar durante un periodo mayor de tiempo antes que tengan los mismos efectos perjudiciales en el frijol soya.

La germinación es una etapa crítica en el frijol soya. Los excesos de humedad o las prolongadas sequías en esta etapa afectan adversamente la germinación y resultan frecuentemente en malos plantíos. Cuando está bien establecido, el frijol soya puede soportar cortos periodos de clima seco. Los experimentos efectuados en la Estación Agrícola Experimental de Arkansas demostraron que el frijol soya entraba en un periodo de actividad durante el clima seco. Si este periodo de sequía era corto, el frijol soya reanudaba su desarrollo, los daños eran leves y no se afectaban los rendimientos.

El sistema de raíces del frijol soya, no tan extenso ni profundo como el del maíz, es bastante limitado antes de la floración. El aumento más rápido de follaje y raíces ocurre en las 3 ó 4 semanas posteriores a la iniciación de la floración, y la utilización de agua corresponde a ese crecimiento, siendo relativamente baja desde la siembra hasta la floración y mayor durante los dos meses siguientes a la iniciación de ella.

Varios técnicos recomiendan los riegos cuando la cantidad de humedad disponible de la tierra que queda en la zona de raíces llega al 50%. Los aumentos de rendimiento obtenidos bajo esta base hacen pensar que es satisfactoria hasta que tengamos información más precisa.

Los requerimientos estacionales de agua de frijol soya varían de 13 a 23 pulgadas. En los experimentos efectuados en la Estación Agrícola Experimental de South Dakota, Leonard J. Erie y Niel A. Dimick, midieron un promedio diario de utilización de consumo de 0.14 de pulgada para el frijol soya desde la siembra hasta la recolección, o sea una cantidad aproximadamente igual que para el maíz, las papas y la remolacha de azúcar. El personal de la Estación Agrícola Experimental de Alabama indica un promedio

diario de requerimientos de agua de 0.18 de pulgada para el frijol soya durante la estación de crecimiento.

De los experimentos efectuados en la Granja Experimental del Manto Duro de Arcilla del Medio Oeste en el centro de Missouri, D. M. Whitt midió un promedio de utilización normal de 0.18 de pulgada en junio, 0.32 de pulgada en julio y 0.28 de pulgada en agosto. Estos factores se determinaron bajo condiciones de riego en 1954, que fue un año seco, en parcelas pequeñas, y pueden ser altos debido a que no se midió la evaporación lateral.

Las cantidades de agua que pueden retener las tierras para uso de las plantas varían de 0.5 de pulgada por pie de profundidad en arena a 2.5 pulgadas en arcilla. La necesidad de agua de las plantas bajo iguales condiciones de fertilidad en una localidad determinada es esencialmente la misma, independientemente de la tierra, así que el frijol soya cultivado en tierras arenosas no necesitará riegos o lluvias con más frecuencia que el que crezca en tierras más pesadas. Por tanto, al establecer un programa de riego es necesario considerar la necesidad de agua de las plantas y la capacidad de la tierra para suministrarla.

En el frijol soya se emplean riegos por aspersión y en surcos. En las Grandes Planicies en donde se han usado métodos superficiales durante muchos años, se usan casi exclusivamente los riegos de surcos y se emplean ambos métodos en los Estados húmedos. Los rociadores son especialmente deseables en tierras arenosas con elevadas proporciones de absorción de agua, así como en tierras de topografía desigual.

Los aumentos de rendimiento debidos a riegos del frijol soya son variables. Durante los estudios que llevaron a cabo en la Estación Agrícola Experimental de la Rama del Delta del Mississippí en 1952, E. E. Hartwig, P. Grissom y W. A. Raney, apreciaron aumentos de 5 a 7 bushels sobre los 24.5 bushels por acre obtenidos en parcelas de control en tierras de marga arcillosa, y en el mismo año apreciaron un aumento de 15 bushels sobre los 29 bushels por acre obtenidos en parcelas de control en tierras arcillosas. Los riegos aumentaron el tamaño de las semillas y demoraron la maduración. Los investigadores de Arkansas apreciaron aumentos de rendimiento debidos a los riegos de 2.7 bushels por acre sin fertilizantes y de 3.3 bushels con fertilizantes durante 9 años, de 1931 a 1939. Los aumentos fueron de 23 y 25%, respectivamente, y el periodo incluyó 2 años en que hubo lluvias abundantes en julio y agosto, y en que los rendimientos de las parcelas regadas y sin riegos fueron aproximadamente iguales. Los rendimientos aumentaron en 5 bushesl por acre, de 29 a 34 al año siguiente, mediante el riego de parcelas sin fertilizar.

El frijol soya no respondió a los riegos en tierras duras de arcilla en el centro de Missouri entre 1949 y 1950 mientras que los rendimientos de maíz aumentaron más de 20% con ellos. En esa región se apreció un aumento de 17 a 31 bushels por acre en 1953, con un solo riego de 4.70 pulgadas en agosto. Las lluvias de julio y agosto sólo fueron en total de 4.10 pulgadas, y la falta de humedad de la tierra se hizo crítica durante el periodo de llenado de las vainas.

La humedad afectó también la calidad de las pepitas y del aceite extraído de ellas en Missouri. Se necesitaron 4,500 pepitas de las parcelas sin riego para hacer una libra, comparadas con 3,000 pepitas de las parcelas regadas. El contenido de aceite fue de 20.3% sin riegos, y de 22.5% con riegos. La cantidad de acetona no soluble, una medida aproximada de la pérdida de refinamiento del aceite, fue más de 3 veces mayor en el frijol que se cultivó sin riegos.

En Arkansas y Missouri las diferentes variedades han dado reacciones distintas a los riegos. Las temperaturas más elevadas, que ordinariamente se asocian con la sequía, parecen explicar una gran parte de esas diferencias. Las variedades de maduración tardía se afectaban generalmente en forma más adversa que las que se maduraban más temprano. En 1954 ocurrió una excepción a lo anterior, en los estudios del Delta del Mississippí, efectuados en el sudeste de Missouri. La variedad Ogden, de estación completa,

produjo 9 bushels por acre sin riego, y 32 bushels con 12.75 pulgadas de agua de riego. La variedad Dorman, que se madura 3 semanas antes, produjo 7 bushels sin riego, y 23 bushels con 12.75 pulgadas de riego.

Superficie de frijol soya regada. (Estimación de 1954)

	Acres	*Porcentaje del total*
Arkansas	38,000	4.5
Missouri	1,000	0
Nebraska	30,000	15.8
South Dakota	200	.1
Oklahoma	200	.4
Illinois	500	0
Alabama	20	0
Lousiana	1,000	1.7
Mississippí	2,000	.4
Total	72,920	

D. M. WHITT *se unió al Departamento de Agricultura en 1935, habiéndose graduado en la Universidad de Missouri. Es investigador asociado de la Universidad de Missouri y conservador de tierras en la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas.*

C. H. M. VAN BAVEL *es técnico de tierras de la Sección Oriental de Manejo de Tierras y Aguas, y profesor asociado de tierras en la Estación Agrícola Experimental de North Carolina.*

El riego del algodón para obtener mayores rendimientos

Bert A. Krantz, Norris P. Swanson, Karl John R. Carreeker

UNA CANTIDAD CADA VEZ MAYOR de algodón se cultiva con riegos.

En el Oeste la superfiice de riego de algodón era aproximadamente de 8,600 acres en 1909 y de 2.443,000 acres en 1949, cuando el 9.2% de la superficie total de algodón y el 18.5% de su producción se obtenían de tierras de riego. La rápida tendencia a aumentar continuó después de 1949.

El algodón se cultiva con riegos en Arizona, California, New Mexico, Texas y Oklahoma.

El uso de riegos suplementarios en el área productora de algodón más húmeda, una nueva tendencia, se aceleró con las sequías de 1952 y 1954, con la represión más adecuada del picudo del algodón y con las mejoras de las prácticas de fertilización. Ha ocurrido la mayor expansión en los Estados del Sur que se encuentran más al Oeste, especialmente a lo largo de los deltas de los ríos Mississippí y Arkansas.

James L. Gattis, del Servicio Agrícola de Extensión de Arkansas, calculó que en Arkansas se usaron riegos suplementarios en 70,000 acres en el año de 1953, y en 145,000 acres en 1954, y que en 1949 sólo había aproximadamente 5,000 acres de riego.

P. H. Grissom, de la Estación Agrícola Experimental de Mississippí, calculó que en Mississippí se usaron riegos superficiales en 43,000 acres en 1954, y en 150,000 a 200,000 acres en 1955. En la Zona Algodonera ha ido creciendo el interés en los riegos suplementarios y casi todas las estaciones experimentales estatales citaban 500 acres o más que contaban con riegos suplementarios.

HAY VARIOS MÉTODOS EN USO COMÚN para el riego del algodón: Riegos de surco, con rociadores, de bordo y de bordo plano o cuenca. Antes de escoger un método, el agricultor algodonero debe considerar la permeabilidad de la tierra, topografía, suministros de agua, costos y la cantidad de agua que haya que aplicar durante la estación. El desarrollo de la tubería liviana, portátil, de acoplamiento rápido, ha aumentado el uso de sistemas de aspersión, que tienen varias ventajas: Se requiere muy poca o ninguna preparación de la tierra; no hay que alterar las terracerías u otras prácticas para el control de la erosión y la conservación de la humedad; pueden hacerse aplicaciones ligeras y uniformes de agua cuando se deseen; las pequeñas corrientes de agua puede aprovecharse eficazmente; los sistemas pueden llevarse a otros campos. Sus desventajas consisten

en un incremento en los costos de entrega de agua y en una inversión por acre relativamente alta.

El riego de surcos es muy común en el algodón, especialmente en el Sudoeste. Se adapta bien a tierras profundas que están casi niveladas o que tienen declives uniformes y moderados. Los agricultores que viven en áreas con altas intensidades de lluvias deben considerar seriamente el problema de la erosión de la tierra antes de escoger este método. Las pendientes de los surcos en esas áreas no deben exceder de 0.25% (3 pulgadas de caída en 100 pies), para que no produzcan erosión. Si las tierras y la topografía permiten su uso, los surcos nivelados o de contorno proporcionarán una distribución más uniforme del agua de riego, evitarán la erosión, eliminarán desbordamientos innecesarios de la precipitación, requerirán menos mano de obra y producirán rendimientos mayores. Los sistemas de riego de surcos pueden planearse para utilizar una amplia gama de corrientes. Una corriente muy pequeña puede utilizarse como corriente de un solo surco, y una corriente mayor puede dividirse entre más de 100 surcos.

El algodón regado en surcos se siembra normalmente en filas cuyo espaciamiento varía de 36 a 42 pulgadas, con un surco entre cada fila. Algunos agricultores usan camas con un surco entre cada par de filas en tierras de permeabilidad lenta. El espaciamiento de los surcos debe adaptarse al equipo normal de granja que se emplee, pero no debe ser tan ancho que impida que el agua se extienda hasta el centro de los bordos antes de que se mueva hacia el fondo debajo de la zona de raíces.

El éxito en el riego de surcos requiere el mantenimiento, durante toda la estación de riegos, de surcos que tengan una sección adecuada para transportar la corriente de agua deseada. Esto no es un problema serio en aquellos campos en que el algodón se siembra en camas; pero cuando se siembra en plano o con arados de doble vertedera, el algodón sembrado en los surcos de doble vertedera necesitará cultivo para abrir los surcos de riego entre las filas. Puede ser necesario regar el algolón sembrado con arados de doble vertedera en los surcos de siembra si las plantas no son lo suficientemente grandes para permitir que se construyan surcos entre las filas mediante el cultivo para la época del primer riego después de la siembra. Esto alienta el crecimiento temprano de hierbas en las filas, de donde son muy difíciles de extirpar.

El riego de bordos puede ser satisfactorio en campos que tienen poco o ningún declive lateral, pero las corrientes pequeñas no son satisfactorias para usarse con sistemas de riego de bordos. Sin embargo, pueden utilizarse las corrientes o cargas más grandes para regar varias fajas de bordos a la vez con un pequeño aumento en la mano de obra.

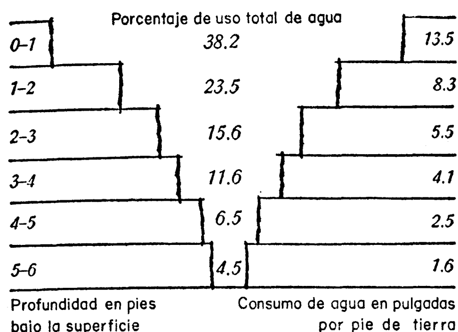
El riego de bordos nivelados o cuencas proporciona un excelente control del agua de riego con un mínimo de mano de obra. Si la conservación de lluvias y la prevención de la erosión constituyen problemas, se usan bordos nivelados o de banco para el algodón. A menudo se aplica el agua a la faja de bordos en los surcos. Los bordos pueden facilitar los riegos del algodón sembrado en plano, y son un medio eficaz de aplicar riegos de desleimiento o lavado para evitar la acumulación de sales en la superficie de la tierra.

Los requerimientos de clima del algodón dependen de la variedad que se siembre, extensión de la estación de crecimiento, temperatura, horas de sol, cantidad y distribución de las lluvias, profundidad y contextura del suelo, y si hay que lavar sales en la mayoría de los riegos o en todos ellos, de la calidad del agua. Un sistema de riego eficiente mantendrá al mínimo las pérdidas de zanjas, filtración profunda y desbordamiento, y se consideran como buenas las las eficiencias de riego de 60 a 75%.

En las regiones húmedas los requerimientos de agua de riego dependen de la duración y frecuencia de las sequías de verano. John R. Carreker, en los experimentos que efectuó en Georgia, aumentó los rendimientos en un 58% mediante los riegos durante los 5 años comprendi-

dos de 1949 a 1953. Obtuvo en promedio de casi 4 riegos al año, con un total anual aproximado de 7 pulgadas por acre de agua. Se han obtenido resultados semejantes en Arkansas, Mississippí, Alabama, Missouri y Texas.

Los experimentos efectuados en el Valle de San Joaquín, en California, de



1926 a 1935, permitieron llegar a la conclusión de que son suficientes aproximadamente 24 pulgadas de agua para la producción normal de algodón en tierras arcillosas o de marga arcillosa, y que bastan aproximadamente 30 pulgadas en tierras de marga arenosa, teniéndose en cuenta en esos cálculos tanto la evaporación superficial como la transpiración de las plantas. Se calculó también que la aplicación de un total de riegos de 15 a 20 pulgadas en tierras pesadas con un máximo de 14 pulgadas de riegos preparatorios para la siembra, o de 15 a 20 pulgadas en tierras medianas y ligeras con 11 pulgadas de riegos preparatorios, serían suficientes para cubrir las 24 pulgadas que necesitan las plantas en el campo.

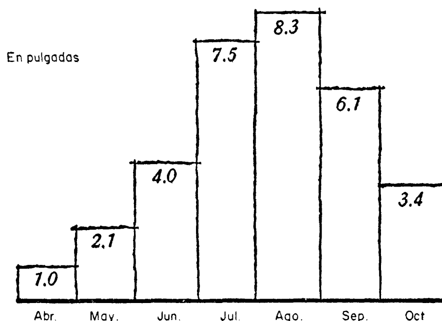
K. Harris, que llevó a cabo experimentos cerca de Mesa, Arizona, informó haber obtenido un promedio anual de utilización de agua de 36.4 pulgadas en el algodón. La utilización máxima ocurrió en agosto, cuando el promedio fue de 8.3 pulgadas. Se usó casi la misma cantidad de agua en julio, y en forma semejante, un promedio actual de utilización de agua de 35.1 pulgadas por medio de los experimentos efectuados en Shafter, California, en los que se usaron 8.9 pulgadas de agua en agosto.

P. E. Ross recomienda el uso de 20 a 25 pulgadas de aguas suplementarias de riego para el algodón en la parte baja del Valle del Río Grande, con un máximo de 5 riegos si no hay precipitación eficaz. En esa área puede esperarse un promedio de 15 pulgadas de lluvia durante la estación de crecimiento, y de 24 pulgadas durante un año normal.

Norris P. Swanson y E. L. Thaxton encontraron que 20 pulgadas de agua de riego eran ampliamente suficientes para el algodón en las tierras de marga arcillosa de las Altas Planicies de Texas en años de escasas lluvias. El agua se aplicó en un riego antes de la siembra y tres aplicaciones posteriores, no haciéndose mas riegos después del 15 de agosto.

D. L. Jones ha comprobado que son suficientes de 6 a 9 pulgadas de riego suplementario en tierras de contextura media de las Altas Planicies en años de precipitación casi normal. En esa zona cae un promedio de 15 pulgadas de lluvia entre abril y septiembre. El máximo diario de utilización de agua, incluyendo la evaporación de la superficie de la tierra, llegó a 0.40 de pulgada durante el periodo caliente y seco de principios de agosto.

Sin embargo, se considera como aproximadamente normal un promedio máxi-



mo diario de utilización de agua de 0.25 de pulgada en la mayor parte de las zonas productoras de algodón.

Las plantas de algodón producen profundos sistemas de raíces si las condi-

ciones son favorables. Los seis factores que afectan el desarrollo de las raíces, son: el suministro de humedad, suministro de oxígeno o ventilación, temperaturas de la tierra, alimento de las plantas disponible, capa de labranza y materiales tóxicos tales como sal o enfermedades de las plantas que se propagan en la tierra.

Una tierra profunda y condiciones favorables permiten que el algodón arraigue dentro o a través de la profundidad de 6 pies en la tierra a fines de la estación de crecimiento. El arraigado profundo es importante para el algodón de riego, porque proporciona un mayor potencial de almacenamiento de humedad de la tierra. Si la zona de raíces no se ha mojado con las lluvias, debe reponerse el contenido de humedad hasta la capacidad de campo antes de la época de la siembra mediante un riego de preparación. En tierras con un contenido de humedad bastante alto, no es conveniente intentar reponer la humedad más abajo de 3 ó 4 pies durante la estación de crecimiento. El almacenamiento inicial de humedad en la tierra en las profundidades más bajas de la misma, cubrirá ordinariamente las necesidades estacionales de las plantas de algodón bajo la zona principal de actividad de las raíces.

Las principales concentraciones de las raíces del algodón ocurren en los 2 ó 3 pies superiores en las tierras de contextura fina, y en los 3 ó 4 pies superiores de las tierras de contextura mediana y gruesa. En regiones húmedas que tienen una distribución favorable de las lluvias, la profundidad de penetración de las lluvias durante la estación de crecimiento modifica los patrones de distribución de raíces y de extracción de agua.

Se han efectuado estudios de la humedad de la tierra en diversas áreas, y la mayoría de los investigadores han usado la frecuencia de riegos como método para variar el nivel de la tierra o han efectuado sus estudios en tiestos. Esos datos no permiten hacer recomendaciones generales, pero proporcionan información sobre las reacciones del algodón a varios niveles de humedad de la tierra.

Cuando F. G. Gregory y sus ayudantes trabajaron en Egipto con algodones de fibra larga, obtuvieron aumentos de 130 libras de algodón de semilla por acre haciendo abundantes riegos cada 2 semanas, en comparación con el método de riegos ligeros.

F. H. Beckett y C. F. Dunshee estudiaron el efecto de los riegos en el comportamiento del algodón Acala en California, en 1926-1930, y encontraron que las plantas que se regaban cuando quedaba aproximadamente un 50% de humedad disponible, no mostraban síntomas de marchitamiento y producían plantas más grandes, mayor número de flores y cápsulas por planta, menor desperdicio debido a caída de cápsulas, mayor porcentaje de cápsulas con 5 rizos y los mayores rendimientos. Las plantas que no se regaron hasta que la humedad de la tierra se aproximó al límite permanente de marchitamiento en la zona de raíces, comenzaron a marchitarse a las 9 a. m., tuvieron los rendimientos más bajos y mostraron el peor comportamiento. Las plantas que se regaron cuando el marchitamiento comenzó a las 4 p. m. mostraron efectos intermedios. Los investigadores aplicaron un promedio de 38.6 pulgadas de agua de riego a las parcelas más húmedas, y de 22.6 pulgadas a las más secas, encontrando que los rendimientos por parcela eran proporcionales a la cantidad de agua aplicada.

Cuando J. Hamilton, C. O. Stanberry y W. N. Wooten trabajaron en 1952 en tierras de contextura gruesa cerca de Yuma, Arizona, encontraron que si se regaba cuando la tensión de humedad de la tierra llegaba a 0.20 de atmósfera a la profundidad de 8 pies, se obtenían 660 libras más de algodón de semilla que cuando se regaba cuando la tensión de humedad de la tierra llegaba a 9 atmósferas. Un nivel intermedio de humedad de la tierra (que se regó cuando la tensión llegó a 0.6 de atmósfera) dio una reacción aproximadamente intermedia entre los tratamientos extremos. El rendimiento máximo en esos experimentos fue de 2,670 libras de algodón de semilla por acre.

Para mantener la tensión de humedad de la tierra abajo de 0.2, 0.6 y 9 atmós-

feras en toda la estación, fue necesario regar 41, 21 y 12 veces, respectivamente. Esto ocurrió en tierra arenosa y bajo condiciones extremas de temperatura. Si se hubiera regado cuando la tensión de humedad de la tierra llegó a 9 atmósferas, probablemente se habrían obtenido los mayores dividendos netos. El incremento en rendimientos debido a los riegos más frecuentes no fue suficiente para cubrir el incremento de costos.

Bert A. Krantz y K. R. Stockinger, trabajando en condiciones climatológicas semejantes en 1952 en tierras de contextura fina en California. aumentaron los rendimientos de 1.80 a 3.65 pacas de fibra por acre, manteniendo un alto nivel de humedad de la tierra. Los tratamientos de bajo y alto nivel se regaron cuando la tensión de humedad de la tierra a la profundidad de 16 pulgadas había llegado a 0.66 y 15 atmósferas, respectivamente. Un tratamiento intermedio (regado cuando la tensión de humedad llegó a 5 atmósferas) produjo 2.66 pacas por acre. El número de riegos requeridos para mantener estos niveles de humedad fue de 8, 10 y 17 en la proporción baja, intermedia y alta de rendimientos. Es muy provechosa la obtención de una paca extra mediante la aplicación de varios riegos adicionales.

En 1953 se efectuó un experimento semejante, pero se dio más énfasis a los tratamientos en los que la tierra se conservó húmeda. Los rendimientos variaron de 3.02 a 2.10 pacas por acre en tratamientos que se regaron cuando la tensión de humedad de la tierra a la profundidad de 8 pulgadas llegó a 0.33 y 6 atmósferas, respectivamente. Los tratamientos intermedios que se regaron cuando la humedad de la tierra llegó a 0.66 y 2 atmósferas, produjeron 2.74 y 2.76 pacas por acre, respectivamente. Los tratamientos tuvieron una cantidad suficiente de substancias nutritivas de las plantas.

Para conservar la humedad fue necesario regar 19, 15, 11 y 8 veces cuando llegado a 0.33, 0.66, 2 y 6 atmósferas, respectivamente. Tres riegos adicionales proporcionaron 0.66 de paca extra por acre, pero 8 riegos más sólo produjeron un aumento de 0.26 de paca. Los 3 riegos adicionales fueron productivos, pero fue dudoso el valor de los últimos. En esos experimentos no se midieron las aplicaciones de agua. Sin embargo, basándose en las mediciones de los experimentos efectuados en 1954, se calcula que se aplicaron aproximadamente 45 y 32 pulgadas de agua a los tratamientos de 0.33 y 6 atmósferas, respectivamente. En el experimento con riegos frecuentes (cada 5 días) en tierras con un abundante suministro de nitrógeno, el algodón no se volvió demasiado vegetativo ni disminuyeron los rendimientos.

Los agricultores de la región húmeda consideran al algodón como planta de clima seco. Las cortas sequías frecuentes nunca causaron una pérdida total de la cosecha; pero aun así los rendimientos reales fueron a menudo mucho menores del potencial, debido a la escasa humedad de la tierra en ciertas etapas del crecimiento de las planta. Generalmente se consideró que los daños causados por los insectos fueron menores en climas secos que en estaciones húmedas, y se han desarrollado métodos más eficaces para la represión de los insectos del algodón. Esto y el mayor énfasis dado a la producción más eficiente han hecho que crezca el interés en los métodos para eliminar los efectos de la sequía por medio de los riegos.

Lloyd Johnson, de la Estación Agrícola Experimental de Alabama, encontró que las aguas suplementarias aumentaron los rendimientos durante varios periodos de sequía, pero que esos rendimientos disminuían cuando se regaba en exceso en años húmedos. En 1950, cuando las lluvias llegaron a 12.94 pulgadas en junio, julio y agosto, la aplicación de un total de 7 pulgadas de agua de riego hizo que los rendimientos disminuyeran de 1,328 libras por acre a 1,053 libras. En 1952, cuando cayeron 9.06 pulgadas de lluvia en junio, julio y agosto, los rendimientos aumentaron de 1,449 libras por acre a 2,538 libras, mediante la aplicación de 5.2 pulgadas de agua de riego.

Los resultados obtenidos en la Universidad de Georgia mostraron aumentos en los rendimientos que fueron desde

muy pequeños hasta muy favorables, mediante la aplicación de riegos. En 1951, cuando las lluvias de junio, julio y agosto fueron de 12.37 pulgadas, el rendimiento de algodón de semilla fue de 2.165 libras por acre. Cuatro pulgadas adicionales de agua de riego en ese periodo aumentaron el rendimiento a 2,538 libras por acre. Las lluvias de junio, julio y agosto en 1952 sólo fueron de 8.82 pulgadas, y el rendimiento de algodón de semilla aumentó de 742 libras a 2,534 libras por acre mediante riegos suplementarios de 9.44 pulgadas de agua. Se obtuvieron aumentos semejantes en los años secos de 1953 y 1954.

Billi B. Bryan, Russel Benedict y D. A. Brown, de la Universidad de Arkansas, informaron haber obtenido rendimientos normales de una paca por acre sin riegos, y de 1.57 pacas con riegos en los 3 años comprendidos de 1950 a 1952 en Marianna. El promedio de lluvias en junio, julio y agosto fue de 10.29 pulgadas en esos años, y cada año se aplicó un promedio de 5 pulgadas de agua de riego.

Los investigadores de la Estación del Delta del Colegio del Estado de Mississippí registraron en 1952 rendimientos de algodón de semilla de 2,021 libras por acre sin riegos, y de 2,461 libras cuando se aplicaron 5.15 pulgadas de agua de riego.

D. M. Whitt, de la Estación Agrícola Experimental de Missouri, informó que se obtuvieron rendimientos de 1,414 libras por acre sin riegos y de 3,458 libras con riegos en el año de 1953. Aplicó 7.43 pulgadas de agua en 4 riegos en julio y agosto, e informó que las plantas de algodón reaccionaron a las condiciones de escasez de humedad dejando caer hojas, flores, brácteas y cápsulas.

W. P. Law, Jr., informó de los experimentos efectuados en el Colegio Agrícola de Clemson, en South Carolina, en 1953, en los que se aumentaron los rendimientos de algodón de semilla en 655 libras por acre por medio de 2 riegos con un total de 2.6 pulgadas de agua. Observó también que la defoliación del algodón regado es más eficaz que la del que no se riega, porque hay menor proporción de segundo crecimiento después de las lluvias de fines de verano o principios de otoño si las plantas han tenido abundante humedad durante toda la estación.

LA DEBIDA OPORTUNIDAD DE LOS RIEGOS es indispensable para obtener una producción más elevada. K. Harris y R. S. Hawkins, en Arizona, y Frank Adams y sus ayudantes, en California, enfatizaron la importancia de los riegos tempranos y adecuados para estimular el rápido crecimiento antes de la fructificación. La demora en los primeros riegos después de la siembra redujo la producción temprana de cápsulas y estimuló el exceso de crecimiento vegetativo a fines de la estación.

Win Lawson efectuó experimentos en Indio, California, para estudiar los factores que causaban un exceso de crecimiento exuberante del algodón. Encontró que las plantas que recibían humedad adecuada durante toda la estación eran 11 pulgadas más cortas y menos exuberantes que aquellas en las que se había demorado el primer riego hasta aproximadamente 11 semanas después de la siembra. Esos resultados y los de otros experimentos indican que la práctica de demorar el primer riego "para estimular la planta y forzar las raíces hacia abajo", no tienen ningún fundamento.

Krantz y Stockinger investigaron los efectos de la oportunidad de los riegos en 1952 y 1953, y encontraron que la disminución del nivel de humedad de la tierra cuando el algodón comenzaba a fructificar, o cuando se abrían las primeras cápsulas, causaba una disminución de rendimiento.

La reducción del nivel de humedad de la tierra de 0.66 de atmósfera a 5 y 15 atmósferas a una profundidad de 8 pulgadas cuando se formaban las primeras cápsulas, disminuyó los rendimientos de 3.65 a 2.76 y 1.80 balas por acre, respectivamente. Sin embargo, si el nivel de humedad a esos niveles no se disminuía hasta que las primeras cápsulas comenzaban a abrirse, el rendimiento sólo se disminuía de 3.65 a 3.24 y 3.03 pacas por acre.

Otro experimento permitió comprobar

que la reducción de nivel de humedad de la tierra de 0.66 de atmósfera a 6 atmósferas a una profundidad de 8 pulgadas al iniciarse la fructificación, disminuyó los rendimientos de 2.74 a 2.30 pacas por acre. Sin embargo, si el algodón se conservaba seco a principios de estación hasta que se iniciaba la fructificación regándolo a una tensión de 6 atmósferas y durante el resto de la estación se regaba a una tensión de 0.66 de atmósfera la disminución de rendimiento era aproximadamente la misma, siendo esos rendimientos de 2.74 y 2.38 pacas por acre. Si la reducción en los niveles de humedad de la tierra se hacía a principios de septiembre, inmediatamente antes de la primera recolección, no se disminuían los rendimientos.

Esos resultados indican que nunca debe permitirse que escasee la humedad de las plantas hasta que éstas hayan producido la gran mayoría de las cápsulas.

Las observaciones de campo en el área húmeda y los datos limitados de investigación indican que se obtienen los mejores resultados mediante los riegos que se aplican durante la etapa de fructificación. Ordinariamente las lluvias de invierno reponen el suministro de humedad de la tierra en toda la zona de raíces, y a menudo las operaciones de labranza y de siembra hacen que la capa arada se seque en tal forma que se produzca una mala germinación de la semilla si las lluvias no siguen inmediatamente a las operaciones de siembra. Un ligero riego después de la siembra puede evitar las dificultades de germinación durante cortos periodos de sequía.

Las raíces de las plantas de algodón penetran rápidamente en la tierra después de la germinación. Ordinariamente hay poca necesidad de riegos hasta que las plantas llegan a la etapa de fructificación, y entonces el número de riegos que se necesiten dependerá de la distribución de las lluvias, sin que puedan darse reglas fijas porque las lluvias son erráticas.

Los resultados citados anteriormente y obtenidos en la Estación Agrícola Experimental de Alabama, indican que los rendimientos de algodón son mejores si no hay excesos de humedad ni marchitamientos serios. La suspensión del agua de riegos hasta que se aproxima el punto de marchitamiento, reponiendo entonces la humedad de la tierra, parece ser el método más eficaz de cubrir las necesidades de agua de las plantas de algodón cuando son deficientes las lluvias. Los esquemas de riego deben calcularse para evitar que se produzca el marchitamiento.

La primera o segunda aplicación de agua en estaciones secas causa la rápida germinación de las semillas de hierba, pudiendo ocurrir un crecimiento excesivo de ellas cuando se hacen los riegos después de terminar el cultivo, y, por lo tanto, deben combinarse los programas de riego y las operaciones de represión de las hierbas sin perder de vista ese objeto.

LA FERTILIZACIÓN Y EL MANEJO pueden influenciar las necesidades de riego del algodón.

J. Hamilton y C. O. Stanberry investigaron en Yuma, Arizona, los efectos de las proporciones variables de fertilizante de nitrógeno y los diversos espaciamientos de las plantas en la necesidad de riegos del algodón, y encontraron que el aumentar los niveles de humedad causaba muy poco o ningún efecto cuando era bajo el contenido de nitrógeno. Sin embargo, cuando había una cantidad adecuada de nitrógeno, se producía una reacción apreciable a la humedad, y se obtuvo la mejor reacción al nitrógeno con el tratamiento húmedo, demostrando así la importancia de obtener una óptima combinación de factores. Los efectos del espaciamiento se sumaban a la reacción de humedad de la tierra. Un espaciamiento mayor produjo cantidades más elevadas de fibra, pero los efectos fueron los mismos a todos los niveles de humedad.

En el Valle Imperial, Krantz y Stockinger no obtuvieron ninguna reacción adicional a la humedad de la tierra en los niveles de nitrógeno más elevados. Los aumentos de rendimiento debidos a cantidades adicionales de nitrógeno fueron los mismos para todos los niveles de humedad de la tierra. Como las altas

proporciones de nitrógeno y de agua empleadas eran más que suficientes para obtener los rendimientos máximos, parece que no ocurrieron efectos de reacción interna en las tierras de contextura fina.

En la Estación del Delta del Mississippí, en 1952, se aplicó nitrógeno en proporciones de 60, 90 y 120 libras por acre al sembrar parcelas con y sin riegos. Los rendimientos de algodón de semilla sin riegos fueron de 2,317, 2,465 y 2,727 libras por acre, respectivamente, a esas proporciones. Los riegos aumentaron los rendimientos a 2,748, 3,040 y 3,314 libras por acre con las mismas proporciones de nitrógeno. Los riegos aumentaron los rendimientos en todos los casos, así como la reacción a la fertilización con nitrógeno.

M. E. Bloodworth y sus ayudantes en Weslaco, Texas, estudiaron los efectos de 4 niveles de riego con 3 espaciamientos de plantas, y encontraron que los espaciamientos más próximos aumentaban los rendimientos en las parcelas de alta humedad y los disminuían en las parcelas secas. Obtuvieron también el mayor crecimiento de plantas y de raíces y los mayores rendimientos en las parcelas más húmedas.

Los problemas de la represión de insectos no se empeoran apreciablemente con los riegos moderados. La fructificación extra de las plantas cuando hay abundante humedad de la tierra comparada con la de las tierras secas, compensa la tendencia al incremento de actividades del picudo y de otros insectos causada por los mayores suministros de humedad.

El nivel de humedad de la tierra tiene menos influencia en las propiedades de la fibra y de la semilla que en los rendimientos. Sin embargo, las escaseces de humedad de la tierra alteran algunas características.

P. J. Lyerly y sus ayudantes, en la Estación Agrícola Experimental de Texas, en Yaleta, encontraron los siguientes aumentos entre los niveles superiores e inferiores de humedad: Rendimiento 98%; tamaño de la cápsula 16%; índice de semilla 20%; índice de hilas 8%; promedio de longitud 14%, y promedio de la mitad superior 10%. El porcentaje de hilas y la resistencia de la fibra disminuyeron 8 y 12%, respectivamente. D. G. Sturkie,, de la Estación Agrícola Experimental de Alabama, y W. P. Law, del Colegio Clemson, comprobaron una tendencia semejante. Storkie observó también que con humedad adecuada las fibras eran más maduras y gruesas, y el contenido de aceite de las semillas era mayor que en el algodón cultivado con deficiencias de humedad en la tierra. Sus investigaciones incluyeron estudios de tipos de tierra, preparación de tierras, fertilizantes y materia orgánica, llegando a la conclusión de que la condición de la humedad de la tierra era el factor más importante que puede afectar la producción de fibra.

Para obtener la producción máxima, las plantas de algodón nunca deben quedar sujetas a escaseces. Se debe regar de acuerdo con las necesidades de las plantas y no con el calendario. Puede determinarse a simple vista una deficiencia de humedad de la tierra, primeramente por la coloración oscura y azulada del follaje de las plantas, y más tarde por el marchitamiento de las hojas. El cultivador debe inspeccionar las plantas de algodón en las partes más secas del campo y usarlas como indicadores de la necesidad de riegos, y debe comenzar a regar cuando las plantas muestren síntomas de escasez de agua. Los riegos deben continuarse hasta que se hayan establecido todas las cápsulas que se espera que maduren. Ordinariamente, los riegos tardíos en otoño causan un crecimiento vegetativo indeseable.

Las deficiencias de humedad son más comunes durante el periodo de fructificación en la zona húmeda. A menudo los riegos suplementarios aumentarán los rendimientos y eliminarán los riesgos de pérdidas debidas a la sequía.

Para obtener los máximos beneficios de su inversión en riegos, el agricultor debe emplear buena semilla de variedades bien adaptadas, una fertilización adecuada, la represión de hierbas e insectos, y utilizar otras buenas prácticas de manejo.

BERT A. KRANZ *es técnico supervisor de tierras en la Rama de Investigación de Conservación de Tierras y Aguas del Departamento de Agricultura en Billings, Montana, y ha estado con el Departamento desde 1943.*

NORRIS P. SWANSON *es ingeniero de riegos de la Rama de Investigaciones de Conservación de Tierras y Aguas en Lincoln, Nebraska, y se unió al Departamento de Agricultura en 1939.*

KARL R. STOCKINGER *es técnico en física de tierras de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas del Departamento de Agricultura en la Estación de Campo de Riegos del Sudeste, en Brawley, California, y se graduó en el Colegio del Estado de Montana.*

JOHN R. CARREKER *ha estado a cargo de los estudios e investigaciones sobre riegos en la Estación Experimental de Conservación de Piedmont desde 1947.*

El riego y cultivo del arroz

C. Roy Adair y Kyle Engler

EL ARROZ DE LAS TIERRAS ALTAS que no se riega y el de los arrozales o arroz de riego requieren diferentes variedades y métodos de cultivo.

Todo el arroz comercial en los Estados Unidos de Norteamérica se cultiva con riegos controlados. En varios países se usan diversos métodos de riego, controlados o sin control para suministrar el agua necesaria para el desarrollo de las plantas de arroz.

El arroz de tierras altas se cultiva en áreas donde las lluvias son abundantes durante la estación de crecimiento. Gran parte del arroz cultivado en América Central y del Sur, y en muchos países de Asia, se produce en condiciones de tierras altas. El arroz de tierras altas se cultiva también para consumo doméstico en pequeños campos que no llegan a un total de 3,000 acres en los Estados del Sudeste.

Se cultiva una superficie limitada de arroz "providencial" en Louisiana y otras partes de los Estados del Sudeste. Se construyen represas de campo semejantes a las del arroz de riego, pero las lluvias suministran el agua necesaria. Se obtienen rendimientos bastantes satisfactorios en estaciones de lluvias abundantes y uniformes, pero las estaciones normales o secas significan rendimientos bajos.

El arroz flotante se cultiva en el sudeste de Asia, en donde las corrientes se desbordan durante la estación de crecimiento. Se siembran algunas variedades adaptadas especialmente antes de la estación de inundaciones, el agua sube lentamente y los campos permanecen inundados durante varias semanas. Mientras tanto las plantas se alargan rápidamente a medida que aumenta la profundidad del agua. Las cañas son débiles, pero quedan sostenidas por el agua, y cuando ésta baja, las plantas se amontonan, pero queda el suficiente crecimiento recto para que los panículos se eleven sobre el suelo y se produzca la semilla. El arroz producido en esta forma debe recolectarse a mano.

La tierra adecuada para el arroz ordinariamente está bien nivelada y tiene un patrón de desagüe bien definido. Sin embargo, en las Filipinas y otras partes del sudeste de Asia, el arroz se cultiva en terrazas en las regiones montañosas, en donde a veces toda la ladera de una montaña se convierte en una serie de arrozales. El agua fluye hacia abajo de una terraza a otra por medio de vertederos.

En los Estados Unidos de Norteamérica el agua de riego se desvía de las corrientes o se bombea de los ríos, arroyos, represas de campo que se construyen a lo largo de los contornos y que mantienen los campos inundados a una profundidad bastante uniforme.

EL CULTIVO DEL ARROZ en los Estados Unidos de Norteamérica se inició en el siglo XVII cerca de Charleston, South Carolina, y pronto se convirtió en una importante cosecha a lo largo de las corrientes de mareas en el área costera del sur del Atlántico. Las campos a lo largo de las corrientes se dividían por medio de zanjas de desagüe y de represas en parcelas que quedaban aproximadamente al mismo nivel, Las represas se construían con la tierra excavada de las zanjas y los campos pequeños quedaban cercanos a los canales que llevaban el agua de

las corrientes. Los canales conectaban también las corrientes pequeñas, formaban líneas divisorias entre las plantaciones y proporcionaban transportación por medio de lanchones durante la siembra y la recolección. Las compuertas de inundación, localizadas arriba de la línea de agua salada de las corrientes, controlaban el flujo del agua en el canal. Las compuertas se colocaban de manera que el agua fluyera a los canales en las mareas altas, cerrándose en las bajas. Igualmente podían abrirse durante las mareas bajas para desaguar los campos.

Los nuevos pobladores que llegaron después de 1865 intentaron cultivar arroz en las praderas del sudeste de Lousiana.

Encontraron que el arroz crecía muy bien allí y que las lentas corrientes de los arroyos proporcionaban agua en abundancia para los riegos. El problema consistía en llevar el agua a las tierras más altas. Los primeros intentos consistieron en bloquear las pequeñas áreas de desagüe almacenando agua durante el invierno, que se bombeaba después a los campos por medio de pequeñas bombas movidas por motores de vapor. Estos sistemas fueron mejorando paulatinamente, hasta que en 1894 se estableció la primera gran planta de riego en Bayou Plaquemine, aproximadamente a 2 millas de Crowley, Louisiana. Se empleó primeramente una bomba de tipo de vacío que se descompuso a mediados del verano, y al año siguiente se instaló una bomba centrífuga que no tenía la capacidad suficiente para suministrar el agua necesaria para toda la superficie. En 1896 se instaló una bomba centrífuga más grande que suministraba 5,000 galones de agua por minuto, o sea lo suficiente para abastecer la superficie sembrada. Durante los años siguientes se instalaron muchas plantas de bombeo en las corrientes del sudoeste de Louisiana y del sudeste de Texas, y algunas de esas plantas de bombeo que funcionaban en 1901 suministraban hasta 45,000 galones por minuto.

Los requerimientos de agua del arroz son bastante elevados, porque los campos quedan inundados de 3 a 5 meses.

En California se necesitan de 3 a 8 pies de agua en cada estación, y los requerimientos en Arkansas y Louisiana son de 1.5 a 3 pies. La cantidad de agua de riego necesaria es menor donde los subsuelos son relativamente impermeables y las lluvias estacionales son abundantes. Las lluvias normales abundantes disminuyen los requerimientos de bombeo en las zonas arroceras de Arkansas, Louisiana y Texas; pero las lluvias excesivas pueden causar daños en las represas y pérdidas serias de agua.

Más del 40% de la superficie sembrada de arroz en 1953 en los Estados Unidos de Norteamérica se regó por medio de pozos. Aproximadamente el 90% de los 485,000 acres de arroz de Arkansas, el 40% de los 604,000 acres de Louisiana y el 20% de los 573,000 acres de Texas, así como el 10% de los 394,000 acres de California y la mayor parte de los 75,000 acres de Mississippí, se regaron también por medio de pozos.

El bombeo de los arroyos proporciona la mayoría del agua superficial en Louisiana y Texas, y la desviación de las grandes corrientes es la fuente principal de agua en California. El principal suministro de agua superficial en Arkansas procede de presas que varían de tamaño desde 20 hasta más de 4,000 acres y que se llenan durante los periodos de abundante desbordamiento.

El bombeo continuo y concentrado ha disminuido seriamente el nivel de agua del suelo en algunas partes de Arkansas; pero se están desarrollando otras fuentes de agua de riego y se está considerando la reposición de agua del suelo por medio de pozos.

Después de 1919 se emplearon comúnmente motores "Diesel" para bombear agua.

Desde entonces, la comodidad, los bajos requerimientos de mano de obra y los bajos costos iniciales y de operación han producido un cambio al empleo de la energía eléctrica para el riego del arroz. En 1955 había aproximadamente 1,800 instalaciones de riego, de las que casi el 50% se movían con electricidad. En Louisiana, de un total de 1,061 pozos,

450 tenían motores "Diesel"; 212 motores de gas natural; 105, motores eléctricos, y el resto, otras unidades motrices.

La eficiencia de las bombas ha aumentado rápidamente, disminuyendo por lo tanto los desembolsos por concepto de corriente eléctrica. Los tazones de las bombas tenían ordinariamente una eficiencia aproximada de 20 ó 40% en 1915, mientras que los tazones de las bombas modernas de diseño adecuado tienen una eficiencia aproximada de 83%.

Los costos de la corriente eléctrica para el riego de arroz en Arkansas, variaban de 4.68 a 11.24 dólares por acre en 1954. Los costos fijos o generales tenían un promedio aproximado de 3.75 dólares por acre. Las cuotas de electricidad para el riego de arroz son más bajas en las bombas que funcionan continuamente durante toda la estación, pero puede ser conveniente pagar cuotas ligeramente mayores a fin de obtener mayores flujos de agua durante algunos periodos, reduciendo así el tiempo empleado en los riegos. Un flujo de 5 galones por minuto por acre, suministra el promedio de 22 pulgadas por acre que se requiere durante poco más de 80 días, mientras que 7.5 galones requieren un poco menos de 60 días, mientras que 7.5 galones requieren un poco menos de 60 días. Se ha calculado que el promedio de flujo de un pozo en las granjas arroceras de Arkansas es aproximadamente de 7.1 galones por minuto por acre, y la experiencia obtenida en las granjas indica una preferencia a cantidades mayores que el mínimo.

El agua se transporta desde las bombas, corrientes o presas, por medio de canales, de los cuales se desvía a zanjas laterales de campo y, finalmente, a los retenes o represas de campo. Estas estructuras deben localizarse por un ingeniero competente y ser de tamaño adecuado para suministrar agua donde y cuando se necesite.

Cuando las lluvias son menores de lo normal en la costa del golfo de Louisiana y Texas, el nivel de agua de las corrientes que suministran agua de riego a menudo es tan bajo que el agua salobre penetra desde el Golfo, y la concentración de sales de cloruro puede ser tan elevada que disminuya los rendimientos y calidad del arroz o cause la pérdida de la cosecha.

No debe usarse para regar arroz tierno el agua que contenga más de 35 granos de sal por galón (600 partes por millón), si la tierra está seca, y si el agua va a permanecer en el campo. El arroz regado continuamente con agua que contenía 35 y 75 granos de sal por galón (600 y 1,300 partes por millón), sufrió una disminución de rendimiento de aproximadamente 25 y 70%, respectivamente, y el arroz fue de menor calidad que cuando se usó agua que contenía 25 granos por galón. La planta de arroz puede tolerar mayores concentraciones de sal en las últimas etapas de crecimiento, aunque las concentraciones excesivas pueden matar las plantas o volverlas estériles. La variedad Blue Rose es más tolerante a la sal que algunas otras, y ha dado rendimientos satisfactorios con aguas que tienen concentraciones de sal de 75, 150, 200 y 250 granos por galón en las etapas de labranza, producción de juntas, producción de cubiertas y de espigas, respectivamente. Probablemente algunas de las nuevas variedades sufrirían daños graves con esas cantidades de sal.

Si se ha regado un campo con agua dulce y si se cambian los suministros a agua salada, los daños serán menores que cuando se emplea agua salada en tierras secas. La razón de ello es que la sal queda más concentrada en la tierra seca y mayor cantidad de ella se mueve dentro de la zona de raíces, de donde es absorbida por las plantas. El arroz cultivado en tierras arcillosas puede no dañarse tanto con el agua salada como cuando se cultiva en tierras ligeras, porque se emplea menos agua y se pierde menos por filtración.

Se añaden aproximadamente 3 toneladas de sal por acre cuando se usa agua que contenga 50 granos de sal por galón durante toda la estación de crecimiento. Las acumulaciones de sal en el transcurso de los años pueden destruir la floculación de la tierra, aumentando la adherencia, consolidación e impermeabilidad. La tie-

rra defloculada es difícil de cultivar y produce rendimientos bajos.

El agua de los pozos que se usa para regar una gran parte de la superficie sembrada de arroz en Louisiana y Arkansas tiene ordinariamente bajo contenido de cloruros. Sin embargo, en la cuenca inferior del río Vermillion en Louisiana, el agua salada penetra a la Presa Chicot cuando penetra en el río. El agua de los pozos poco profundos perforados en los mantos Quaternay, en Arkansas, contiene 75 partes de calcio por millón y 22 partes de magnesio por millón. Las tierras que se han regado durante muchos años con el agua de estos pozos han aumentado su proporción de pH desde aproximadamente 5.0 hasta 8.0, y este cambio de una reacción altamente ácida a otra sumamente alcalina se debe a la adición anual aproximada de 1,500 libras por acre de equivalente de piedra caliza. El aumento del calcio y del magnesio disponibles, reduce la disponibilidad de fósforo en la tierra, pudiendo invertirse esos cambios si se obtiene una nueva fuente de agua con bajo contenido de minerales disueltos.

En California se ha cultivado arroz para reacondicionar tierras saladas o alcalinas y se ha tenido éxito cuando el agua tiene un contenido mucho menor de minerales disueltos que la tierra cuando la tierra es relativamente permeable y tiene un desagüe adecuado. Pueden cultivarse en tierras alcalinas aquellas cosechas que son tolerantes a la sal 2 ó 3 años después del arroz.

Es muy importante la temperatura del agua de riego. Esa temperatura puede ser demasiado baja a principios de estación y muy alta a fines de la máxima para obtener el brote máximo del arroz sembrado en agua. La germinación se retrasa cuando la temperatura del agua es menor de 70° F. Las raíces no se desarrollan bien cuando la temperatura es superior a 85°, debido probablemente al bajo contenido de oxígeno del agua caliente. Ordinariamente la temperatura del agua de los pozos poco profundos de Arkansas y de los arroyos de California es de 65° F., o menor. Cuando esa agua fría se suministra directamente al campo, ordinariamente se retrasa el crecimiento del arroz que se encuentra cerca de la entrada del campo. Ese arroz de "agua fría" puede madurarse de 7 a 10 días después que el resto del arroz en el campo y esa diferencia interfiere con la recolección. La manera de impedir que eso ocurra consiste en retener el agua en una cuenca de calentamiento o de proporcionar varias entradas al campo. El agua procedente de los pozos profundos en Arkansas y de las corrientes, lagos y presas en el Sur, ordinariamente es bastante caliente para el arroz.

Comúnmente el agua se entrega en la parte más alta de un campo por medio de canales o bombas, y pasa a través de los arrozales sucesivamente más bajos por medio de aberturas o retenes de metal en las represas. Los retenes de metal proporcionan un control permanente de la altura máxima del agua en cada arrozal. Las represas de campo deben estar debidamente espaciadas y construirse en los contornos, para proporcionar riegos uniformes y un desagüe completo. Las represas se espacían con una diferencia aproximada de dos décimos de pie de altura entre las que quedan adyacentes, y si la tierra se empareja antes de hacer las mediciones, éstas resultan más precisas y se obtienen riegos uniformes y un mejor desagüe.

Las represas se construyen con rastras de discos especiales o con máquinas que se empujan para formarlas, con lados en declive y lo suficientemente altas para que retengan una profundidad de agua de 4 a 6 pulgadas en los campos secundarios o arrozales en que se produzcan desbordamientos a los arrozales más bajos. Las represas bajas y en declive disminuyen los costos de producción porque pueden sembrarse, produciendo así mayor cantidad de arroz y disminuyendo el crecimiento de hierbas.

En los Estados Unidos de Norteamérica se practican dos métodos generales para la siembra y riego del arroz. Uno consiste en enterrar la semilla en la tierra inundándola después, y el otro consiste en esparcir la semilla en el agua.

Gran parte del arroz en los Estados

del Sur se entierra o se siembra con sembradoras especiales, cubriéndolo después con rastras de discos. Luego se riega ligeramente la tierra si se necesita que haya humedad para la germinación y crecimiento de los brotes, y más tarde se inundan las tierras cuando las plantas tienen de 6 a 8 pulgadas de altura.

Los almácigos se preparan arando la tierra con un arado de vertedera o de discos en otoño, invierno o a principios de primavera, pasando luego una rastra de discos o de otro tipo y empleando a veces una rastra pesada de troncos para romper los terrones. Las tierras pesadas, tales como las arcillas de Sharkey o Beaumont, se secan ordinariamente para cuando se ha preparado y sembrado la tierra, lo que hace necesarios los riegos para que germine la semilla, a menos que ocurran lluvias inmediatamente después de la siembra. El campo debe desaguarse después del primer riego, porque la semilla de arroz que queda cubierta con una pulgada o más de tierra, no germinará en agua estancada. Sin embargo, esta práctica proporciona también condiciones ideales para la germinación y crecimiento de hierbas.

Los experimentos iniciados en 1914 en las nuevas tierras arroceras de California demostraron que se obtenían los mejores rendimientos cuando se inundaba la tierra a una profundidad de 6 a 8 pulgadas, aproximadamente 30 días después de que nacían los primeros brotes de arroz. Sin embargo, este método favorecía la invasión e incremento de las hierbas, especialmente de la hierba de granero (especie *Echinochla)*, y, por lo tanto, no era apropiado para tierras arroceras viejas. Los experimentos efectuados en Arkansas demostraron que una grave infestación de hierbas disminuye los rendimientos del arroz hasta un 50%, o más, y se desarrollaron los métodos de siembra en el agua para controlar las hierbas.

En California se inició la siembra del arroz en agua como medio de controlar la hierba de granero. A menudo, las partes bajas de un campo cubiertas de agua se sembraban esparciendo la semilla a mano, mientras que ésta se enterraba en el resto del campo, observándose que esas áreas quedaban relativamente exentas de hierba de granero. Los experimentos con la siembra de arroz aproximadamente en 6 pulgadas de agua demostraron que podían controlarse muchas hierbas con ese método y que podían obtenerse buenos plantíos de arroz y rendimientos altos. El arroz germina y brota a través de 6 pulgadas de agua, mientras que las hierbas rara vez llegan a la superficie del agua. Al principio se sembraba el arroz con una sembradora de esparcimiento, ya que si se emplea una sembradora ordinaria para esparcirlo en el agua, se levanta lodo que hace difícil que el operador pueda seguir una línea recta. El aeroplano es más conveniente para sembrar tierras inundadas, y el piloto se guía por medio de abanderados que se colocan a cada extremo del campo y que señalan la distancia (aproximadamente 30 pies) que puede sembrar el aeroplano en cada pasada a través del campo.

Se intentó por primera vez la siembra desde aeroplanos cerca de Merced, California, en 1929, para resembrar un campo en el que las gallinetas de pantano habían destruido el arroz, obteniéndose un plantío aceptable y rendimientos satisfactorios. Varios cultivadores de California sembraron su arroz desde aeroplanos en 1930, y actualmente la siembra desde aeroplanos es práctica común entre los cultivadores de California. Los experimentos efectuados con las siembras en agua en Arkansas y otros estados del Sur indicaron algunas modificaciones que se adaptaron a las demás áreas.

El método de cultivo del arroz que prevalece actualmente en California consiste en arar la tierra a principios de primavera a una profundidad de 4 a 6 pulgadas, y dejar que se seque durante 7 a 10 días. Puede entonces prepararse un almácigo satisfactorio rastreando dos veces la tierra y apisonándola con una rastra pesada de troncos. Se construyen luego las represas de campo, se colocan las compuertas de inundación en su sitio y se inundan los campos a una profundidad aproximada de 6 pulgadas. La se-

milla que se ha dejado remojar de 36 a 48 horas se siembra entonces desde un aeroplano en proporción de 135 libras de semilla por acre. El campo se conserva inundado a una profundidad de 5 a 7 pulgadas hasta que el arroz quede listo para escurrirse antes de la recolección. La preparación de los almácigos cuando la tierra está seca da mejor control de las hierbas acuáticas que no pueden reprimirse con la inundación y retrasa el crecimiento de algas (lama verde) en la superficie del agua.

En el método de siembra en agua empleado en Arkansas, la tierra se ara ordinariamente en invierno y los almácigos se preparan rastreando con discos 2 ó 3 veces y apisonando luego. Frecuentemente la tierra se ara también a una profundidad aproximada de 8 pulgadas con un cultivador de campo para proporcionar espacio para la aplicación de aguas frías de riego que contienen oxígeno, que es necesario para el temprano desarrollo de las raíces. El agua bajo la superficie de la tierra se conserva fría y retiene cantidades considerables de oxígeno, mientras que el agua de la superficie se calienta con el sol dejando escapar gran parte del oxígeno. Las represas se terminan después de que se trabaja la tierra con el cultivador de campo, y éste se cultiva con una rastra de dientes de resorte que deja surcos poco profundos y hendiduras que impiden que se pierda la semilla. Se colocan luego las compuertas de inundación, el campo se inunda a una profundidad de 4 a 6 pulgadas, y el arroz se siembra desde un aeroplano. La siembra se hace tan pronto como sea posible, ya que a menudo se obtienen plantíos pobres cuando el agua ha estado en el campo más de 4 días antes de la siembra. La proporción de siembra es de 100 a 110 libras de semilla seca por acre, y ordinariamente el agua se desagua después de 5 a 6 semanas para la represión del picudo acuático del arroz y para suministrar tierra seca para el tratamiento superficial con fertilizantes.

El método de siembra en agua que se practica en las tierras pesadas y arcillosas de Texas y otros Estados del Sur, consiste en arar y rastrear la tierra con discos para matar la vegetación dejando una superficie áspera. Se construyen luego las represas y el campo se riega ligeramente, de modo que el agua cubra apenas la tierra. Los campos inundados se cultivan entonces con una rastra ligera de discos o con una rastra pesada de dientes. Inmediatamente después se siembra la semilla humedecida desde un aeroplano. A veces se deja una inundación poco profunda, pero generalmente el agua sobrante se desagua del campo después de la siembra y las semillas se cubren con una delgada capa de lodo. La germinación de la semilla humedecida con anticipación es muy rápida, y tan pronto como salen los brotes, los campos que se desaguaron después de la siembra se inundan ligeramente y se aumenta ligeramente la profundidad de agua hasta 5 ó 7 pulgadas a medida que los brotes se alargan. El agua puede desaguarse una o dos veces durante la estación de crecimiento para la represión de insectos o para aplicar fertilizantes.

La debida oportunidad de los riegos y desagües puede ayudar en la represión de ciertos insectos. La larva de la raíz ha disminuido los rendimientos hasta en un 29% en algunas áreas, y se han obtenido rendimientos de 11 a 27% en los rendimientos desaguando los campos cuando hay evidencia de fuertes podas de las raíces del arroz por las larvas. Esto ocurre ordinariamente de 17 a 28 días después de que se inunda el campo por primera vez. Sin embargo, esta práctica proporciona condiciones ideales de procreación para los mosquitos de los arrozales (*Psorophora confinis* y *P. discolor*), que depositan sus huevos en la tierra de donde se ha desaguado el agua. Los huevos incuban cuando la tierra se inunda de nuevo. El gusano del Sur, de la raíz del maíz, los pulgones, los escarabajos de la caña de azúcar y el gusano del Sur de las hierbas, que a menudo son plagas graves en algunos sitios, pueden reprimirse a veces parcialmente inundando el campo cuando se atacan los brotes o dejando el agua en el campo tanto como sea posible cuando se ataca el arroz al llegar a la madurez.

Pueden reprimirse algunas enfermeda-

des del arroz y disminuirse las pérdidas que causan, empleando métodos apropiados de riego. La espiga recta en una enfermedad no parasitaria que se caracteriza por la imposibilidad de producir semillas y que ordinariamente va acompañada de una deformación de las páleas y glomas A veces la espiga recta es muy destructora en los Estados del Sur en tierras con alto contenido orgánico, y ocurre más frecuentemente en tierras arenosas, de marga o mezcladas, pero rara vez en tierras arcillosas. Se obtiene una represión eficaz desaguando el campo inmediatamente antes de que se formen los botones de los panículos, lo que ordinariamente ocurre de 6 a 8 semanas después de que nace la planta, dependiendo de la longitud de la estación de crecimiento de cada variedad. El campo se inunda después tan pronto como se seca la tierra.

La podre del tallo, una enfermedad de hongos, aparece primeramente a mediados del verano en forma de pequeñas áreas decoloradas en las cubiertas de los tallos de arroz cerca de la línea de agua. El método de represión más satisfactorio consiste en desaguar el agua de los campos infectados antes de que la infección llegue a las cañas. Debe añadirse entonces agua de tiempo en tiempo para mantener saturada la tierra, sin que se inunde. Ese tratamiento puede dar por resultado una disminución de las pérdidas debidas al apelmazamiento, pero es muy común una ligera reducción en los rendimientos cuando la infección es leve. No deben practicarse esos riegos, a menos que la infección sea grave.

La ráfaga causada por el hongo *Piricularia oryzae*, causa pérdidas de tiempo en tiempo en los rendimientos del arroz en los Estados del Sur. Ordinariamente la fase más obvia y perjudicial de la enfermedad es la infección de las cañas y panículos después que las plantas han producido espigas. La infección ocurre también en la etapa de brotes y causa una disminución en los plantíos antes de que se inunden los campos, pero pueden disminuirse los daños tan pronto como se noten los lunares de las hojas.

C. ROY ADAIR *es agrónomo encargado de las investigaciones sobre el arroz en la sección de cosechas de cereales de la Rama sobre Investigaciones de Cosechas de Campo del Servicio de Investigaciones Agrícolas en Beltsville, Maryland.*

KYLE ENGLER *es jefe del Departamento de Ingeniería Agrícola del Colegio de Agricultura de la Universidad de Arkansas, en Falletteville.*

La producción de maíz de 100 bushels por medio del riego

H. F. Rhoades y L. B. Nelson

EL MAÍZ NO PUEDE CULTIVARSE con provecho sin riegos en las zonas áridas del Oeste. El riego cambia el maíz de una cosecha marginal a una cosecha productiva en las regiones semiáridas, y elimina el riesgo siempre presente de la sequía en las áreas subhúmedas y en el Oriente húmedo.

En los experimentos hechos con los riegos en varias regiones secas del Oeste, se han obtenido rendimientos de maíz mayores de 150 bushels por acre. Esos rendimientos sólo se obtuvieron empleando la mejor combinación de prácticas, pero los agricultores de esas áreas pueden mejorarlos adoptando prácticas semejantes.

Los beneficios obtenidos con el riego del maíz varían de año en año en las regiones subhúmedas y húmedas. Los experimentos efectuados en la Granja de Desarrollo de Redfield en South Dakota, mostraron un incremento en rendimientos debido a los riegos de 117 y 27 bushels por acre después de sembrar alfalfa en años de lluvias menores y mayores que lo normal, respectivamente. En Athens, Georgia, los aumentos debidos a los riegos variaron de menos de 6 bushels por acre en años de lluvias abundantes hasta 64 bushels por acre en años de sequía. Esos resultados sugieren que los agricultores de la región subhúmeda pueden beneficiarse cada año y que los agricultores de las regiones húmedas pueden también beneficiarse en la mayoría de los años

si riegan el maíz. Sin embargo, deben adoptarse prácticas de manejo de la tierra para obtener una producción elevada a fin de aprovechar plenamente el agua adicional.

En 1949 se regaron menos de un millón de acres de maíz en los Estados Unidos de Norteamérica, ocurriendo más de la mitad de esa superficie en Colorado y Nebraska. Parece probable que la superficie de maíz de riego aumentará a medida que se riegan nuevas tierras.

El riego de surcos es el método más común de aplicación de agua al maíz en el Oeste y puede emplearse con ventaja en algunas granjas del Este. Una de las condiciones esenciales es que la tierra esté bien preparada, a fin de que el agua pueda distribuirse uniformemente, y casi todos los campos necesitan cierta nivelación para asegurar un riego de surcos eficiente. El riego de surcos se efectúa aplicando el agua hacia abajo del declive por medio de surcos abiertos entre las hileras. En los declives ligeros, el maíz se siembra de modo que los surcos queden paralelos con el declive que predomina. En los declives más pronunciados, los surcos pueden trazarse un poco a través del declive que predomina o casi en los contornos. Puede obtenerse la distribución del agua en los surcos desde las zanjas de entrada, canales o tuberías dotadas de compuertas. Ordinariamente son más convenientes los sifones de plástico colocados sobre los bordos de las zanjas principales o las salidas a través de los mismos que los cortes que se hacen en ellos.

La distancia entre las zanjas de campo o la longitud del recorrido, que proporcionará una distribución uniforme de agua, se determinan por la permeabilidad de la tierra, el declive y el tamaño de la corriente. Puede obtenerse una distribución satisfactoria del agua por medio de recorridos prolongados de 1,000 a 1,300 pies en tierras con declives ligeros y permeabilidad más alta o con declives más pronunciados, la longitud del recorrido puede ser menor de 600 pies. Pueden requerirse recorridos menores en algunos campos, un año después de haber sembrado una cosecha de legumbres que un año después de sembrar maíz o pequeñas gramíneas.

En el riego de surcos debe emplearse una corriente de capacidad suficiente para que dé una distribución uniforme, un desbordamiento mínimo al final de los surcos y una pérdida mínima de tierra por erosión. Puede ser conveniente emplear una corriente mayor hasta que el agua llegue al extremo de los surcos, disminuyéndola luego a fin de que el desbordamiento constituya sólo un pequeño porcentaje del agua aplicada.

En el Este el riego por aspersión es el método empleado más comúnmente en el maíz, y se está usando en extensas superficies del Oeste. Parece que el tipo más conveniente para el maíz es el de tubería portátil de aluminio de acoplamiento rápido con cabezas giratorias o rociadores circulares. Como ordinariamente el maíz se cultiva en rotación con otras cosechas, no son apropiadas las instalaciones permanentes.

Es de especial importancia seleccionar rociadores que se adapten a las condiciones de las granjas individuales. Deben aplicar el agua en cantidades comparables al promedio de infiltración del agua en la tierra, ya que las cantidades excesivas desperdician agua y pueden causar erosión.

Los rociadores portátiles son difíciles de mover en los campos de maíz y se han propuesto varios métodos para facilitar el empleo de rociadores en plantíos altos de maíz. Uno de ellos consiste en mezclar el maíz de surco ancho con hierbas y legumbres, ya que la tierra entre los surcos anchos facilita la colocación y movimiento de la tubería. Otro método consiste en mezclar fajas de maíz con fajas de tierra o de una cosecha de surco tal como frijol soya, haciendo las instalaciones de rociadores en las cosechas que tienen un crecimiento bajo.

El maíz de riego consume ordinariamente de 16 a 25 pulgadas de agua durante la estación de crecimiento, aunque se tienen informes de cantidades tan altas y tan bajas como 33 y 12 pulgadas, respectivamente.

Muchos factores influencian la utilización del agua por el maíz, y entre ellos se encuentran el clima, longitud de la estación de crecimiento, etapa de crecimiento, crecimiento total, prácticas de riego, plantíos y fertilidad de la tierra, influyendo también las propiedades físicas de ella que controlan el movimiento de agua, su almacenamiento y el movimiento del aire. Las enfermedades y las plagas de insectos afectan el crecimiento del maíz y, por lo tanto, su consumo de agua. La temperatura, humedad y movimiento del viento afectan la transpiración del agua y su evaporación de la superficie de la tierra.

La evaporación del agua de la superficie de la tierra y la utilización de la misma por el maíz se intensifican con el frecuente humedecimiento de la tierra, porque la humedad de la superficie se evapora más fácilmente que la que se encuentra a grandes profundidades. Por lo tanto, los riegos o las lluvias frecuentes o una combinación de ambos, tenderán a aumentar la utilización de consumo del agua debido a la mayor evaporación. La humedad elevada acompañada de lluvias pero no de riegos, puede compensar en parte ese efecto.

Una sola planta de maíz con follaje completo puede transpirar 32 cuartos de galón de agua en una semana. La cantidad de agua transpirada depende de la etapa de desarrollo de la planta y de los factores climatológicos, siendo menor cuando la planta de maíz es pequeña, aumentando al máximo en la etapa de desarrollo de filamentos y continuando en una proporción bastante elevada hasta cerca de la madurez. Las proporciones normales de utilización de consumo pueden ser de 0.30 de pulgada diario en periodos de riego de 15 a 20 días durante la segunda mitad de junio y la mayor parte de agosto. En periodos más cortos, esa proporción puede ser hasta de 0.4 de pulgada diario durante periodos de tiempo caliente y airoso.

Cualquier factor que promueva el crecimiento, como prácticas de riego, plantíos y tratamientos para incrementar la fertilidad de la tierra, aumentará también la utilización de consumo del agua hecha por el maíz. Aun así, se puede mejorar la eficiencia con que el maíz utiliza el agua en términos de libras o bushels de cosecha producidos por una determinada cantidad de agua.

Seis riegos efectuados en Mitchell, Nebraska, que mantuvieron un alto nivel de humedad de la tierra durante la estación de crecimiento, dieron un rendimiento de 153 bushels por acre con 21.4 pulgadas de agua, o sea 7.1 bushels por pulgada-acre de agua. En aquellas parcelas donde sólo se conservó un alto nivel de humedad de la tierra durante la etapa de crecimiento inmediatamente antes de producirse espigas hasta la etapa de filamentos por medio de tres riegos, el rendimiento fue de 144 bushels por acre con 15.6 pulgadas de agua, o sea 9.2 bushels por pulgada-acre de agua.

Se necesita menos agua para producir una unidad por peso de material de plantas en tierras sumamente fértiles que en tierras con bajo nivel de fertilidad. Por ejemplo, cerca de Lincoln, Nebraska, el maíz cultivado en tierras de baja y alta fertilidad requirió 550 y 392 libras de agua, respectivamente, para producir una libra de materia seca. Diez pulgadas de agua de riego aplicadas durante la estación de crecimiento en Arapahoe, Nebraska, produjeron un rendimiento de 108 bushels por acre cuando se aplicó una cantidad adecuada de fertilizante de nitrógeno, y un rendimiento de sólo 68 bushels por acre cuando no se aplicaron fertilizantes.

El suministro de humedad a diferentes periodos, influencia grandemente las características de crecimiento del maíz. Una deficiencia de humedad de la tierra durante las primeras etapas de crecimiento, retrasa el crecimiento vegetativo, demora la producción de filamentos y espigas y hace más lenta la maduración. Si se alivia la escasez de humedad para la etapa de producción de espigas y si se obtiene una humedad óptima durante todo el resto de la estación de crecimiento, es probable que los rendimientos sean bastante buenos.

Una deficiencia de humedad durante la producción de espigas y filamentos, disminuye considerablemente los rendi-

mientos, ya que durante ese periodo son mayores las necesidades del maíz de una abundante humedad de la tierra. Una disminución de la humedad disponible durante 2 días y de 6 a 8 días durante la etapa de producción de espigas en Washington, disminuyó los rendimientos en 22 y 50%, respectivamente.

Cuando se efectuaron 3 riegos que mantuvieron un alto nivel de humedad desde la producción de espigas hasta la de filamentos en Nebraska, se obtuvieron 144 bushels por acre; pero otros 3 riegos efectuados antes de la producción de filamentos sólo dieron 118 bushels por acre.

Cuando ocurre una deficiencia de humedad después de la producción de espigas y filamentos, el grado de disminución de los rendimientos se relaciona con la etapa de madurez del grano en la época en que ocurre la escasez de humedad. Después de la etapa de madurez (etapa de médula dura) puede disminuir la humedad de la tierra sin afectar los rendimientos, y las deficiencias de humedad después de la producción de filamentos tienen muy poco efecto en el crecimiento vegetativo.

La deficiencia de humedad durante toda la estación de crecimiento ocasiona plantas raquíticas que tienen internodos cortos, mayor crecimiento de raíces en relación con el crecimiento de la parte superior, crecimiento pobre del follaje, demoras en producción de filamentos y espigas, demoras en la madurez y mazorcas pequeñas y escasas. En un experimento efectuado en Nebraska se obtuvo un rendimiento de 69 bushels por acre cuando hubo deficiencias de humedad en la mayoría de la estación de crecimiento, comparado con un rendimiento de 153 bushels cuando la humedad fue adecuada.

La profundidad del agua removida por el maíz tiene gran importancia para el agricultor. Las raíces del maíz obtienen primeramente el agua a escasa profundidad, inmediatamente abajo de la planta. La remoción de humedad se extiende entonces lateralmente hasta que se remueve la mayor parte de la humedad disponible en la capa cultivada. Después de esto se consume el agua de las capas sucesivamente inferiores. Sin embargo, la profundidad de la remoción de agua queda influenciada por las características del subsuelo. En tierras permeables el maíz puede remover la humedad hasta profundidades de 5 ó 6 pies, de acuerdo con las prácticas de riego. En subsuelos de baja permeabilidad la penetración de las raíces y la remoción de humedad pueden quedar limitadas a los 2 pies superiores de la tierra.

La remoción progresiva de agua de las capas sucesivamente inferiores de una tierra permeable de marga arenosa de contextura muy fina, se demuestra por una investigación efectuada en Nebraska en donde no había riegos durante la estación de crecimiento. Para el 4 de julio se había removido aproximadamente el 65% del agua disponible en las 6 pulgadas superiores de la tierra; para el 1º de julio se había agotado toda la humedad disponible en esas 6 pulgadas superiores; para el 31 de julio, de las 30 pulgadas superiores, y para el 13 de octubre, de las 42 pulgadas. En esta última fecha se había removido aproximadamente el 95% del agua disponible hasta una profundidad de 66 pulgadas.

Por otra parte, los riegos o las lluvias influencian grandemente el patrón de remoción de agua. El enraizamiento es más superficial cuando hay abundante humedad disponible y se obtiene menos agua de las profundidades más bajas. En Nebraska, en donde se mantuvo un alto nivel de humedad en una tierra permeable durante toda la estación de crecimiento, se obtuvo aproximadamente el 95% del agua utilizada por el maíz de los 3 pies superiores de la tierra, y el 80% de los 2 pies superiores. Sin riego sólo se obtuvo un 73% de los 3 pies superiores y un 53% de los 2 pies superiores.

La frecuencia de los riegos variará con la capacidad de retención de agua de la tierra, la cantidad y distribución de las lluvias y la etapa de crecimiento de las plantas. No se pueden dar reglas fijas, pero las indicaciones siguientes pueden ser útiles:

Trátese de que al iniciar la estación la tierra esté húmeda a la profundidad máxima hasta donde se extiendan las raíces del maíz durante el año En gran parte de las estaciones en las áreas húmedas, la precipitación del invierno anterior se encargará de esto. Frecuentemente se necesitará un riego en las regiones más secas, que se puede aplicar en otoño o a principios de primavera.

Vigílese la humedad de la tierra y los síntomas de las plantas. Riéguese si el maíz agota la humedad de la tierra en las 12 pulgadas superiores antes de la producción de espigas, o si ocurre un marchitamiento o enrollamiento temporal de las hojas. Si la zona de raíces se ha saturado antes de la siembra, pueden no ser necesarios esos riegos sino hasta después del último cultivo, periodo en el cual el maíz hace un gran consumo de humedad de la tierra. Las tierras arenosas de las áreas más secas pueden necesitar riegos con más anticipación.

No se deje que el maíz sufra con la sequía en cualquier tiempo durante el periodo de polinización. A menos que las lluvias sean abundantes y que la tierra esté completamente húmeda en toda la zona de raíces, riéguese inmediatamente antes de la producción de espigas, pudiendo ser éstos los riegos más benéficos de todos. Pueden necesitarse 1 ó 2 riegos más antes de que se complete la producción de filamentos y la polinización para conservar un alto nivel de humedad de la tierra, y se necesitarán más riegos en las tierras arenosas.

Después de la polinización riéguese siempre que se agote la humedad en la zona de raíces. Vigílese la tierra y las plantas, debiendo regarse el maíz si las hojas se enrollan o si se inicia el marchitamiento. De preferencia, no debe dejarse que el maíz llegue a la etapa de marchitamiento temporal, teniendo muy poca o ninguna influencia en los rendimientos los riegos que se hagan después de la etapa de médula dura.

La frecuencia de riegos en el maíz varía de uno cada 5 ó 7 días en las tierras áridas del Sudoeste a ninguno en los Estados húmedos del Este. Muchos agricultores del Oeste tienden a regar más a menudo de lo necesario. Por ejemplo, en varias zonas del Oeste, 3 ó 4 riegos debidamente espaciados han sido tan eficaces como dos o tres veces ese número. La sequía durante la estación de crecimiento determina la frecuencia de los riegos en el Este. La mejor regla aconsejable es la de regar cuando la tierra está seca. Nunca se espere hasta la siguiente lluvia ni se dependa de los ligeros aguaceros frecuentes para el suministro de las necesidades de humedad.

Aplíquese agua suficiente en cada riego para saturar la zona potencial de raíces hasta su capacidad de campo, dependiendo la cantidad que se aplique de la capacidad de retención de la tierra, profundidad de la zona de raíces y profundidad en que se haya agotado la humedad. Esa cantidad puede variar desde 2 pulgadas en tierras arenosas hasta 6 pulgadas en tierras de marga arcillosa durante el máximo de la estación de crecimiento.

Durante el periodo crítico inmediatamente anterior a la producción de espigas y durante la polinización, puede necesitarse menos agua en un riego porque la frecuencia y la oportunidad son de primordial importancia. Durante la estación de crecimiento no debe permitirse que la tierra se seque hasta donde puede permitirse en otras etapas.

El riego de surcos suministrará a la zona de raíces del 40 al 75% del agua que se aplique, y, por lo tanto, es necesario añadir más agua al campo que la cantidad indispensable para saturar la zona de raíces a su capacidad de campo. Por ejemplo, si la eficiencia de riego es de 50% y se necesitan 3 pulgadas, deben aplicarse 6 pulgadas de agua. Como generalmente el riego por aspersión es más eficiente que el de surcos, hay que aplicar menos agua con este sistema que con el de riego de surcos.

Empleando riegos, puede aumentarse el número de plantas de maíz por acre a fin de obtener mayores rendimientos. No es costeable eliminar el agua como factor limitativo en la producción de maíz o mejorar los métodos de riego y dejar que limiten el rendimiento otros factores. El riego del maíz sólo da resul-

tados más productivos cuando se combinan todas las prácticas para obtener una producción elevada y es indispensable hacer los ajustes adecuados en los plantíos de maíz a fin de emplear más provechosamente el agua adicional.

Si se emplean variedades híbridas de una sola mazorca, son indispensable plantíos que contengan no menos de 14,000 plantas por acre, y a menudo los plantíos que contengan de 17,000 a 19,000 plantas por acre darán máximos rendimientos. Con frecuencia se informa que son todavía más favorables los plantíos más abundantes. Ordinariamente, los plantíos que excedan de 17,000 a 19,000 plantas ofrecen ciertos riesgos, porque aumenta la tendencia a la esterilidad de los tallos, rotura de tallos y producción de mazorcas pequeñas o faltas de desarrollo.

Si se emplean híbridas prolíficas o de doble mazorca, los plantíos finales no deben ser de menos de 10,000 plantas por acre, y con frecuencia se obtienen mejores rendimientos con plantíos de 12,000 a 13,000 plantas, pero los plantíos más numerosos pueden ofrecer los mismos riesgos.

Las proporciones de siembra deben siempre exceder las de los plantíos finales que se deseen. Por ejemplo, ordinariamente deben sembrarse 16,500 semillas para obtener un plantío de 14,000 plantas, debiendo emplearse 21,200 semillas para obtener 18,000 plantas. Las hileras pueden sembrarse hasta una distancia de 30 pulgadas, pero son comunes los intervalos de 36, 38 y 40 pulgadas.

Cuando se emplean plantíos más abundantes hay que tener cuidado de asegurar un suministro abundante de substancias nutritivas de las plantas que pueda sostener el número de plantas adicionales.

Cuando se emplean riegos, debe mantenerse a un alto nivel la fertilidad de la tierra. La deficiencia de cualquier elemento nutritivo puede nulificar los beneficios que se derivan de los riegos apropiados y de los plantíos abundantes.

El nitrógeno es el elemento que escasea con más frecuencia, y el empleo de fertilizantes de nitrógeno en proporciones adecuadas es parte esencial de los procedimientos de riego del maíz. El nitrógeno derivado de las leguminosas y del estiércol puede ayudar a llenar esas fuentes para suministrar el total de los requerimientos de nitrógeno del maíz de riego.

La cantidad de fertilizante de nitrógeno que hay que aplicar varía con las cosechas anteriores y con las prácticas de fertilización, siendo de aconsejarse que los agricultores sigan las recomendaciones de fertilización hechas para cada localidad, debiendo tener presente que se necesitan aproximadamente 2 libras de nitrógeno aplicadas como fertilizante para producir un bushel de maíz. Por lo tanto, si un agricultor puede producir 50 bushels de maíz por acre sin añadir nitrógeno y desea llegar a producir 110 bushels con riegos, tendrá que aplicar aproximadamente 120 libras de nitrógeno por acre. Los experimentos demuestran ordinariamente que el maíz de riego da una reacción más productiva con proporciones de nitrógeno que varían de 80 a 160 libras por acre.

El nitrógeno puede aplicarse al maíz de riego con cualquiera de los métodos que se recomiendan para el maíz sin riegos. El lavado del fertilizante de nitrógeno de la zona de raíces en las tierras arenosas constituye un problema, y para evitar pérdidas graves en esas tierras a menudo es aconsejable hacer 2 ó 3 aplicaciones separadas.

El fertilizante de nitrógeno puede aplicarse también en el agua de riego en cualquier tiempo que se hagan éstos, aun después de que el maíz esté demasiado alto para emplear fertilizaciones laterales comunes. Con el método de riego de surcos, la mejor forma de obtener una distribución uniforme consiste en aplicar una parte del agua sin fertilizante, aplicando luego aproximadamente media pulgada de agua que contenga el fertilizante.

Los fertilizantes de nitrógeno que pueden aplicarse en el agua incluyen el amoníaco anhidro, agua amoniacal, soluciones de nitrógeno, nitrato de amoníaco, nitrato de sodio, sulfato de amoníaco, urea y fosfato de amoníaco. Es conveniente una dosificación precisa de las substancias en el agua.

Hay disponibles en el comercio varios tipos de implementos de medición y otros pueden construirse por los mismos agricultores.

Por lo que hace a las sales de nitrógeno disueltas para aplicarse por aspersión, parece que pueden emplearse sin peligro de quemadura de las hojas, debido a su gran dilución, y podría aminorarse cualquier riesgo alimentando los rociadores con agua exenta de fertilizantes durante cierto tiempo después de su aplicación. La limpieza de los sistemas con agua exenta de fertilizantes evitará también la corrosión. El amoníaco anhidro o en soluciones no puede aplicarse por medio de rociadores debido a las pérdidas por volatilización.

Deben tomarse las mismas precauciones cuando sea necesario aplicar otras substancias nutritivas. Con frecuencia el fósforo y el potasio escasean en la zona húmeda y deben aplicarse en proporciones suficientes para cubrir las necesidades de una cosecha de maíz de alto rendimiento. En las regiones subhúmedas y más secas el suministro de potasio generalmente es adecuado, pero puede haber escasez de fósforo en algunas tierras. En el Oeste y en algunas partes del Sur puede necesitarse cinc. La mayor parte de los Estados tienen disponibles servicios de análisis de tierras para determinar las necesidades de fósforo, potasio y otros elementos, así como para recomendar sus métodos de aplicación.

Parece que no se obtiene ninguna ventaja cuando se aplican al maíz en las aguas de riegos fertilizantes que contengan fósforo, potasio o elementos secundarios. El fertilizante de fósforo debe aplicarse más temprano, porque las necesidades de fósforo del maíz son mayores cuando la planta es pequeña. Ordinariamente la aplicación de un fertilizante de fósforo en el agua de riego, sería demasiado tardía para que se obtuvieran los mayores beneficios.

SON TAMBIÉN NECESARIAS las variedades híbridas adaptadas para la producción de alto nivel con riegos. Esas variedades deben utilizar toda la estación de crecimiento, pueden sembrarse en plantíos abundantes y reaccionan a niveles elevados de fertilidad. Algunas híbridas son inmejorables a este respecto, pero otras dan malos resultados. Una híbrida que da buenos resultados en condiciones normales de plantío y fertilidad no dará necesariamente los mismos buenos resultados bajo condiciones de plantíos abundantes, fertilidad elevada y humedad óptima.

SON TAMBIÉN NECESARIAS las buenas prácticas de labranza. La tierra debe ser lo suficientemente porosa para facilitar el movimiento del aire y del agua en la superficie y en el subsuelo, de modo que pueda ocurrir un enraizamiento profundo. La mayor parte de las tierras pueden conservarse en un estado satisfactorio de cultivo empleando abonos, residuos de cosechas, una rotación que incluya legumbres y hierbas, así como cosechas de cobertura.

Algunas tierras no se adaptan para el cultivo del maíz de riego, independientemente de las prácticas que se empleen para mejorar su labranza. Las tierras con subsuelos lentamente permeables, o con capas que no pueden mejorarse por medio de la labranza o de otros tratamientos, producirán raíces poco profundas y mala penetración de humedad, o tendrán tan mal desagüe que impida remover las sales acumuladas con el agua de riego. Las tierras extremadamente arenosas no se adaptan a los riegos, porque sólo pueden almacenarse en ellas pequeñas cantidades de agua y se necesitan riegos demasiado frecuentes.

CUANDO SE SIEMBRA MAÍZ, ordinariamente se mantiene la tierra limpia de hierbas y de vegetación, y, por tanto, la tierra es susceptible a un sellado superficial que disminuye la proporción de infiltración del agua. A veces la proporción de infiltración es tan lenta, menos de 0.2 de pulgada por hora, que es difícil obtener rociadores con proporciones de aplicación lo suficientemente lentas para evitar pérdidas indebidas por desbordamiento. En vez de emplear riegos por aspersión en esas tierras, es más conveniente corregir primeramente las con-

diciones adversas, incorporando residuos de cosechas en su superficie o empleando una rotación con hierbas y legumbres.

El agricultor debe tratar de obtener cada año los mayores rendimientos. Los riegos cuestan dinero y sólo serán costeables si se obtiene una producción elevada. En la mayoría de las condiciones, el agricultor debe tratar de obtener 100 o más bushels de maíz por acre, mejorando con ese fin sus prácticas relacionadas con los riegos apropiados, fertilización adecuada, empleo de buenas variedades híbridas adaptadas, y buenas prácticas de labranza.

H. F. RHOADES, *es profesor de agronomía en la Universidad de Nebraska y está encargado de las investigaciones sobre manejo de tierras en Nebraska, habiendo estado temporalmente como subjefe de la Sección Occidental de Manejo de Tierras y Aguas de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas de los Servicios de Investigación Agrícola.*

L. B. NELSON *es jefe de la Sección Oriental de Manejo de Tierras y Aguas de la Rama de Investigaciones de Conservación de Tierras y Aguas de los Servicios de Investigación Agrícola, y es director de las investigaciones cooperativas sobre manejo de tierras y aguas de los 31 Estados orientales y Puerto Rico.*

El riego de las remolachas de azúcar

Jay L. Haddock

EL 60% DE TODO EL AZÚCAR refinado de Norteamérica se obtiene de las remolachas de azúcar cultivadas con riegos. Aproximadamente el 15% del azúcar de remolacha que producimos se obtiene sin riegos. Las áreas sin riego se encuentran en los Estados centrales del Norte y en las áreas costeras de la zona de niebla de California.

Muchos de los problemas del riego de las remolachas de azúcar son semejantes a los que se presentan a los agricultores cuando riegan otras cosechas, pero algunos de ellos son diferentes.

Las remolachas de azúcar crecen en muchos climas, pero se riegan principalmente en las regiones más secas al Oeste de los 100° de longitud Oeste.

Las prácticas de riego se desarrollaron inmediatamente después de que se estableció con éxito la primera fábrica de azúcar de remolacha en los Estados Unidos de Norteamérica, en Alvarado, California, en 1870. Los primeros investigadores en Utah, Nebraska y otras partes, observaron que podían cultivarse las remolachas con 15 a 30 pulgadas de agua de riego, pero que eran mejores los riegos frecuentes y poco abundantes que los menos frecuentes y excesivos. Alrededor de 1917, F. S. Harris, director de la Estación Agrícola Experimental de Utah, hizo extensos estudios relacionados con la cantidad de agua de riego y la frecuencia más adecuada para las remolachas de azúcar, y obtuvo rendimientos máximos con 10 riegos de una pulgada durante la estación.

Sin embargo, no es posible dar una sola cifra satisfactoria en relación con las necesidades de riego de las remolachas de azúcar en todas las áreas, porque las condiciones varían considerablemente. La cantidad de agua puede variar grandemente de la que generalmente se considera necesaria para los requerimientos de la cosecha, y la utilización real del agua de riego con cualquier sistema puede consistir sólo en una práctica local y puede economizar o desperdiciar el agua. Bajo condiciones ordinarias, la utilización del agua debe aproximarse a la requerida para obtener el máximo rendimiento económico.

La cantidad necesaria para las remolachas de azúcar puede modificarse con los métodos de riego y la profundidad de la meseta de agua en el perfil de la tierra, además de las condiciones de topografía, contextura de la tierra, clima y, tal vez, otras más.

Cuando la meseta de agua se encuentra a 3 ó 4.5 pies bajo la superficie de la tierra, las remolachas de azúcar hacen un consumo abundante de agua del suelo, y producen rendimientos aceptables cuando el agua proviene en gran parte de esa fuente. En general, sin embargo, los in-

tentos de restringir la utilización normal del agua por las plantas han dado rendimientos poco económicos.

Tanto la utilización de consumo como los requerimientos de riego de las remolachas de azúcar, aumentan en casi todas las áreas durante el mes de junio, permanecen relativamente elevados y uniformes en julio y agosto, y disminuyen apreciablemente en septiembre.

Cerca de Logan, Utah, se calcularon tanto la utilización mensual de consumo como los requerimientos de riego, respectivamente, por medio de la fórmula Blaney-Criddle, con los siguientes resultados: junio, 4.57 y 6.00 pulgadas; julio, 5.27 y 7.83 pulgadas; agosto, 4.80 y 6.86 pulgadas, y septiembre, 3.63 y 4.06 pulgadas.

El anterior sería el patrón típico en muchas áreas en donde las remolachas se siembran en abril y se recolectan en octubre. Sin embargo, sería muy diferente en el Valle Imperial del sur de California, en donde las remolachas se siembran en agosto y no se recolectan hasta junio siguiente. En Montana las remolachas de azúcar alcanzan su máxima utilización de agua el 15 de julio, y mantienen ese máximo aproximado de 0.22 de pulgada diario hasta el 15 de septiembre.

Las siguientes cifras indican la forma en que el clima influencia la utilización de consumo y los requerimientos de riego, respectivamente. Se refieren al periodo de junio a septiembre inclusive, y se calcularon mediante la forma Blaney-Criddle, Sacramento, California, 18.95 y 30.67 pulgadas Fort Collins, Colorado, 17.50 y 19.50; Burley, Idaho, 18.18 y 26.78; Missoula, Montana, 17.04 y 20.39; Tucumcari, New Mexico, 19.85 y 22.37; Prosser, Washington, 18.85 y 29.17, y Cheyenne, Wyoming, 16.85 y 17.49.

La proporción de transpiración de la remolachca de azúcar es menos de la mitad de la de la alfalfa y aproximadamente dos terceras partes de la de las papas. Por lo tanto, la remolacha de azúcar utiliza en forma relativamente eficiente el agua de riego en lo que se refiere a producción de materia seca.

La utilización estacional de consumo de la remolacha de azúcar es ligeramente mayor que la de las papas que tienen una proporción de transpiración 50% mayor que la de la remolacha, debiéndose esto a la estación de crecimiento más prolongada de las remolachas de azúcar. Aunque la utilización estacional de consumo de la cosecha de remolacha de azúcar en la mayoría de las áreas de riego varía de 20 a 30 pulgadas de agua, los requerimientos totales de riego varían de 30 a 60 pulgadas durante una estación. La estación de riegos es de 80 días en áreas en donde las estaciones son cortas, y de 150 días en aquellos sitios donde las estaciones son más favorables.

La cantidad total de agua de riego requerida para producir una cosecha de remolacha depende de la longitud de la estación de crecimiento y del patrón de la precipitación de verano. En realidad varía de 30 a 60 pulgadas de agua en localidades en donde la cosecha depende grandemente del agua de riego. El número de riegos varía de 5 a 12 en la mayoría de las áreas, pero puede llegar hasta 20 en el Valle Imperial de California.

La cantidad de agua removida de la tierra por las remolachas de azúcar en forma de transpiración y evaporación del suelo circunvecino, varía generalmente desde 0.05 a 0.10 de pulgada diario en junio, hasta 0.2 a 0.3 de pulgada diario en agosto. La pérdida de junio en algunos lugares puede ser casi tan alta como la que se indica para agosto.

La longitud de la estación de crecimiento y la distribución de las lluvias durante la misma son de importancia práctica para determinar la cantidad de agua necesaria para el cultivo de la remolacha de azúcar. En algunas partes de California y Washington la estación de crecimiento es de 7 a 8 meses. En muchas áreas intermontañosas, el periodo comprendido de la siembra a la recolección no es mayor de 5 meses. En Sacramento, las lluvias durante 4 meses, de junio a septiembre, son de 0.53 de pulgada. En Scottsbluff, Nebraska, en donde las remolachas de azúcar se cultivan también con riegos, la lluvia es de 7.08 durante

el mismo periodo. El intervalo de riego y los requerimientos totales de riego, por lo tanto, varían considerablemente de una a otra área cuando la estación de crecimiento y la precipitación de verano son tan variables.

LOS HÁBITOS DE ENRAIZAMIENTO de la planta de remolacha restringen las prácticas de riego que pueden considerarse para su producción. Bajo condiciones favorables de tierra, las raíces de la remolacha de azúcar madura pueden llegar a una profundidad de 4 ó 5 pies; pero la planta obtiene aproximadamente el 65% de la humedad que necesita del primer pie de tierra y un 20% del segundo, si hay humedad disponible en esa zona. La pequeña cantidad del 5% del agua utilizada por la planta viene de una profundidad mayor de 3 pies, si hay humedad disponible arriba de ese nivel. Algunos investigadores creen que no hay necesidad de preocuparse más que del primer pie de superficie de tierra durante un riego. Sin embargo, mientras mayor es el depósito de humedad, los riegos necesitan ser menos frecuentes y es más fácil regar eficientemente.

EL MÉTODO DE RIEGO EMPLEADO constituye un punto importante en la cantidad total de agua que necesitan las remolachas de azúcar.

Se ha demostrado en forma experimental que a fin de mantener una tierra de marga de sedimento a una baja tensión de humedad (mantenerla húmeda), durante el crecimiento de las remolachas de azúcar, se requiere aproximadamente un 50% más de agua con riegos de surco que con riegos por aspersión. Esa diferencia se deriva de la mayor eficiencia en la aplicación, filtración menos profunda y pérdidas menores por desbordamiento superficial cuando se hacen los riegos por aspersión. Esa ventaja disminuye a medida que aumenta la profundidad de la tierra que hay que humedecer en cada riego, hasta que prácticamente se elimina cuando esa profundidad se acerca a 3 pies.

El riego por aspersión tiene ventajas especiales sobre el riego de surcos inmediatamente antes de la siembra y de que salgan las plantas, así como antes e inmediatamente después de entresacar las remolachas; pero esas ventajas disminuyen a medida que las raíces penetran a mayores profundidades. Sin embargo, la eficiente aplicación del agua por aspersión no debe tomarse como recomendación para el empleo de ese método en las remolachas de azúcar, ya que hay muchos factores que favorecen el riego de surcos. Pueden usarse aspersiones en el cultivo de las remolachas de azúcar; pero en 1955 se emplearon riegos de surcos en más del 90% de la superficie sembrada de remolachas de azúcar, y a menos que se indique lo contrario, el riego de surcos será el método a que me refiera en este capítulo.

Como probablemente la longitud de la estación de crecimiento es el primer factor limitativo de los rendimientos, debe regarse la cosecha antes de que la tierra quede tan seca que se retrase el crecimiento de las plantas. Cualquier demora en la proporción de crecimiento equivale a acortar la estación de desarrollo.

En ocasiones se debe regar antes de que se siembre la cosecha si la humedad de la tierra no es apropiada para la germinación, lo que puede hacerse inundando la tierra o por medio de corrugaciones. A menudo la humedad de la tierra parece ser suficiente durante la siembra, pero puede agotarse debido a la evaporación superficial y hacer que la evaporación sea irregular. Puede evitarse este riesgo dotando las sembradoras de remolachas con palas de corrugación en tal forma que los surcos queden a 44 pulgadas de distancia uno de otro, o que queden entre hileras alternadas durante la siembra. De ese modo puede aplicarse agua suficiente para humedecer la tierra alrededor de la semilla de modo que se asegura la germinación aun en periodos adversos.

Los campos en que van a cultivarse remolachas de azúcar deben ararse en otoño, pudiendo prepararse entonces excelentes almácigos, rastreando y nivelando la tierra en primavera inmediatamente antes de la siembra. Esta práctica asegura ordinariamente la humedad suficiente de la tierra para que germinen las semillas y

lleguen los brotes a la etapa de entresacado. Inmediatamente después del cultivo y entresacado, deben hacerse los surcos entre cada hilera, preparando las remolachas para el riego.

Ocurre una excepción a la práctica del arado de otoño en los Estados de las planicies, en donde la erosión causada por los vientos de otoño e invierno la hace peligrosa. En esas áreas la siembra de primavera sigue inmediatamente después del arado en esa misma estación.

El riego apropiado requiere el control distribución precisos del agua. Un buen método para regar remolachas de azúcar consiste en usar zanjas laterales de campo con zanjas de igualación y espitas. Muchos cultivadores usan sifones de tubo de plástico o tuberías con compuertas en vez de espitas.

La planta de remolacha es particularmente sensible a condiciones desfavorables de humedad durante las 3 ó 4 semanas siguientes a su brote. En ese tiempo la tierra debe mantenerse húmeda en las 12 pulgadas superiores, a fin de que el crecimiento sea continuo y rápido. Si entonces se necesitan riegos deben ser ligeros, a fin de evitar el desleimiento de las substancias nutritivas solubles de las plantas. A medida que las plantas crecen y que se establece más firmemente su sistema de raíces, pueden soportar periodos moderados de sequía.

Es conveniente humedecer la parte seca de la tierra en cada riego. Dependiendo de su contextura y estructura, las tierras pueden almacenar de 1 a 3 pulgadas de agua disponible por pie de profundidad de tierra. Una tierra de marga de contextura media almacenará aproximadamente 2 pulgadas de agua disponible por pie. Si se remueve por transpiración el 75% de la humedad disponible de los 2 pies superiores de una tierra de esa clase, se necesitarán 3 pulgadas de agua de riego para humedecerla completamente. Suponiendo que los riegos de surco tengan una eficiencia aproximada de 60%, el cultivador debe suministrar 5 pulgadas de agua a fin de obtener las 3 pulgadas de agua disponible de la tierra por cada riego. Si es necesario reponer el depósito de la tierra hasta los 3 pies de una tierra semejante, se necesitarán 4.5 pulgadas de agua disponible en la tierra con 7.5 pulgadas de agua de riego en la entrada del campo. En términos de flujo de corriente, se requeriría una corriente de un pie cúbico por segundo durante 5 horas para obtener 5 pulgadas-acre de agua por acre, y 7.5 horas para obtener 7.5 pulgadas-acre de agua por acre.

Si la cosecha necesita un riego para mantener un crecimiento rápido durante las primeras 3 ó 4 semanas después del entresacado, la aplicación debe ser suficiente para humedecer sólo el primer pie de tierra. Los riegos posteriores deben ser suficientes para humedecer la tierra seca hasta los 2 pies de profundidad, y para fines de julio, hasta 3 pies. Esto requerirá 2 pulgadas de agua por riego para las primeras aplicaciones, y de 3 a 4 pulgadas por riego más tarde en la estación, para suministrar agua disponible a la tierra seca. A fin de limitar las aplicaciones de agua a esas pequeñas cantidades y obtener una distribución uniforme con los riegos de surco, se necesita un control excelente. La idea es humedecer la tierra seca con tan pocas pérdidas de agua por filtración profunda como sea posible.

Como medio de controlar o limitar la influencia perjudicial de la salinidad de la tierra, los riegos tienen una aplicación limitada; pero pueden ser de importancia en sitios donde la salinidad constituye un problema. Las acumulaciones de sales solubles excesivas en las tierras, generalmente son consecuencia de malos desagües. Por lo tanto, si hay que disminuir o eliminar los excesos de sal, deben suministrarse desagües adecuados. La remolacha de azúcar tiene una tolerancia moderada a la sal una vez que queda debidamente establecida. Por lo tanto, se están haciendo esfuerzos para cultivar remolachas de azúcar en tierras demasiado saladas para cosechas más sensibles. Las inundaciones de invierno o los riegos anteriores al brote pueden ayudar considerablemente para obtener un buen plantío de remolachas y aumentar los rendimientos en donde existe una salinidad moderada. Sin embargo, no deben permi-

tirse los excesos de riego o de inundaciones en invierno, a menos que haya buenos desagües. Cuando hay disponible agua de riego de buena calidad y existe un buen desagüe del subsuelo, pueden obtenerse buenos rendimientos en muchas tierras que actualmente no se consideran apropiadas para las remolachas de azúcar.

La forma y posición de los almácigos en relación con los surcos de riego puede ser de gran importancia en las tierras saladas. La semilla debe sembrarse arriba de la línea de agua y 3 a 4 pulgadas a un lado del surco en un almácigo en declive. Esas prácticas permitirán la germinación satisfactoria y el rápido establecimiento de las plantas tiernas. Puede acumularse una elevada concentración de sales solubles en el punto más alto del almácigo a varias pulgadas de las semillas en germinación y de las plantas tiernas, y después de que las plantas han quedado establecidas pueden localizarse de nuevo los surcos permanentes a 10 u 11 pulgadas de cada hilera de remolacha.

La oportunidad de los riegos y el número de ellos pueden influenciar los rendimientos. Mediante la oportunidad de las aplicaciones pueden disminuirse el número de riegos y la cantidad de agua que antes se consideraban necesarios para producir una cosecha satisfactoria.

No son suficientes los rendimientos elevados, ya que es también muy importante el porcentaje de azúcar y la pureza de los jugos de las raíces. Estas consideraciones de calidad se modifican con el nitrógeno disponible de la tierra, que se controla de modo considerable mediante las prácticas de riego. En una tierra dada, 15 pulgadas de agua de riego pueden producir remolachas que tengan 16% de azúcar y 89% de pureza, mientras que 28 pulgadas de agua pueden producir remolachas que tengan 17.5% de azúcar y 92% de pureza.

Como son de importancia tanto los rendimientos como la calidad de la remolacha de azúcar, y como ambos se modifican con las prácticas de riego, es necesario conocer las características de la tierra que se relacionan con su retención de humedad y con el nitrógeno disponible, así como los requerimientos de riego de las plantas.

La cantidad de nitrógeno disponible en la tierra se relaciona estrechamente con las prácticas deseables de riego. Puede disminuirse seriamente el rendimiento de las remolachas con los excesos o deficiencias del agua de riego. Cuando se usan riegos por aspersión puede ser imposible aumentar los rendimientos mediante fertilizaciones con nitrógeno; pero en esas mismas tierras y con riegos de surcos, 80 libras de nitrógeno pueden aumentar el rendimiento en 3 ó 4 toneladas por acre. Esto se debe al hecho de que con los riegos de surco frecuentemente se pierde por filtración profunda el nitrógeno disponible de la tierra, mientras que no es probable que esto ocurra con los riegos por aspersión. En una tierra con disponibilidad moderada de nitrógeno y empleando riesgos por aspersión, puede ser posible obtener rendimientos de 15 toneladas de remolachas con 17 pulgadas de agua, 20 toneladas con 24 pulgadas y sólo 19 toneladas con 37 pulgadas. Esto significa que en esas condiciones las 17 pulgadas de agua no pudieron proporcionar un ambiente conducente al crecimiento de las remolachas y 37 pulgadas de agua fueron demasiado, debido probablemente a que el exceso de agua había desleído una parte del nitrógeno disponible, dejándolo fuera del alcance de las plantas y causando una deficiencia de nitrógeno.

En una tierra, dada la concentración de nitrato de nitrógeno en los petíolos de las remolachas de azúcar, puede ser de menos de 1,000 partes por millón con riegos de surco, y más de 4,000 partes por millón con riegos por aspersión, cuando se han aplicado las mismas cantidades de agua en cada método. Aplicando 15 pulgadas de agua con riegos de surco, pueden encontrarse 2,000 partes de nitrógeno por millón en los petíolos de las remolachas para la época de la recolección; pero pueden encontrarse menos de 1,000 partes por millón cuando se aplican 38 pulgadas de agua. Sin embargo, debe recordarse que el estado de nutrición de las remolachas no es sólo cues-

ción de cantidad de agua de riego, sino que la cantidad de nitrógeno disponible en la tierra, o de fertilizante de nitrógeno, modera la influencia del agua de riego.

Los estudios experimentales hechos en forma limitada indican que a menudo la concentración de fósforo en las hojas y petíolos de las remolachas se aumenta con la frecuencia y cantidad de los riegos mientras que se distribuye la concentración de potasio. Un aumento del fósforo disponible en la tierra tiende a disminuir el consumo de potasio. Por lo tanto, la menor concentración de potasio a medida que crece la frecuencia de los riegos, puede ser efecto indirecto del aumento de consumo de fósforo. Frecuentemente las grandes cantidades de nitrógeno disponible de la tierra disminuyen la concentración de fósforo en ella, y ya mencioné antes que los excesos de agua de riego pueden limitar el consumo de nitrógeno. Por lo tanto, pueden manipularse los riegos para favorecer o impedir el consumo de varias substancias nutritivas.

Se obtendrá la mejor condición de nutrición de las plantas de remolacha de azúcar manteniendo la humedad de la tierra sin pérdidas excesivas de agua debidas a filtración profunda. Como las plantas carecen de raíces profundas, son convenientes los riegos bien controlados, ligeros y relativamente frecuentes. Como es imposible evitar ciertas pérdidas de agua con los riegos de surco, debe añadirse suficiente fertilizante de nitrógeno para compensar las escasas pérdidas por desleimiento rápido.

A veces el programa de riegos de las remolachas de azúcar se inicia antes de que se siembren las semillas, pero más frecuentemente comienza después del entresacado y continúa hasta dos semanas antes de la recolección. El uso frecuente de un probador de humedad o barrena de tierra ayudará a determinar la profundidad de penetración de la humedad. Puede asegurarse el rápido y continuo crecimiento de las plantas si se aplica el agua de riego cuando se ha removido del 40 al 80% del agua disponible en la tierra de la zona de raíces. Esto representa una tensión de humedad de la tierra que varía aproximadamente de 1 a 4 atmósferas.

Como se conocen los hábitos de enraizamiento de las remolachas de azúcar, es posible, mediante el empleo de instrumentos medidores de humedad, preparar un régimen satisfactorio de riegos para las cosechas en cualquier tierra o en cualquier clima, con unos cuantos años de observación.

Cada campo de remolachas de azúcar tiene sus propios problemas por lo que hace a longitud de recorrido, tamaño de la corriente, frecuencia de riegos y el tiempo necesario para obtener una penetración adecuada pero los requerimientos totales varían de 24 a 35 pulgadas, y en estaciones más prolongadas de lo normal llegan hasta 60 pulgadas de agua de riego anualmente.

JAY L. HADDOCK *es técnico de tierras en la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas del Servicio de Investigaciones Agrícolas, habiéndose graduado en la Universidad de Brigham Young, Colegio del Estado de Massachussetts y Colegio del Estado de Iowa.*

EROSION GENERALIZADA DE LA TIERRA

 LIGERA O NINGUNA

 MODERADA — Pérdidas del 25 al 75 % de la tierra superficial, pudiendo ocurrir algunas hondonadas.

 GRAVE — Pérdidas de más del 75 % de la tierra superficial, pudiendo ocurrir númerosas y profundas hondonadas. Incluye una grave erosión geológica en partes de las áreas de escasas lluvias

Nuestras praderas y pastizales



La labranza donde la precipitación pluvial es de 8 a 20 pulgadas anuales

F. L. Duley y J. J. Coyle

La labranza de tierra seca no significa ya sencillamente la labranza en una región de escasas lluvias, sino que ha llegado más bien a significar un sistema bastante bien establecido de manejo de las tierras y de las cosechas que se adapta a los climas semiáridos o secos.

Esos climas existen en varias partes del mundo, incluyendo partes de todos los Estados del Oeste, especialmente las Grandes Planicies, la Gran Cuenca, el noroeste del Pacífico y el Valle Central de California.

La precipitación total en las áreas de labranza seca generalmente es muy baja, variando desde 20 hasta 8 pulgadas anualmente.

Sin embargo, las escasas lluvias constituyen sólo un aspecto. El promedio de temperatura en los Estados del Norte es mucho más bajo que en los del Sudoeste. Por lo tanto, una cantidad determinada de precipitación es mucho más eficaz en el Norte que en el Sur. La distribución de la precipitación durante el año es también de importancia. La precipitación limitada en algunas partes del Noroeste del Pacífico ocurre principalmente en invierno, cuando la evaporación es baja y, por lo tanto, la lluvia penetra más profundamente en la tierra y en el subsuelo que la precipitación más abundante de las Planicies Centrales, en donde la humedad ocurre principalmente en verano. Media pulgada de lluvia en un día caliente y seco puede tener tantas pérdidas por evaporación que sólo una pequeña parte quede disponible para las plantas. Durante el tiempo frío una lluvia de media pulgada puede penetrar tanto a la tierra que gran parte de ella pueda ser utilizada eventualmente para cualquier cosecha.

La erosión causada por el viento en la tierra es común en la mayor parte de las regiones de labranza seca, especialmente en áreas arenosas. En muchos lugares una lluvia torrencial ocasional o un fuerte y repentino aguacero pueden causar una erosión considerable.

Se han hecho grandes progresos hacia la producción de una gran parte de los productos alimenticios de la nación en el Oeste, a una parte del cual llamaron los primeros exploradores el Gran Desierto Norteamericano. El ganado y las pequeñas gramíneas son los productos alimenticios que pueden obtenerse con mejores resultados. Las investigaciones han tenido un efecto considerable en todas las regiones de lluvias limitadas y la mecanización de las operaciones agrícolas ha alterado los requerimientos de mano de obra y ha cambiado los costos de producción en aquellas regiones donde se practican extensas operaciones agrícolas.

Como las Grandes Planicies se pobla-

ron en su mayoría durante el último cuarto del siglo XIX, los agricultores se dirigieron con sus carros cubiertos hacia el oeste de las áreas húmedas de los Estados del Este, y llegaron a esas regiones de escasas lluvias llevando con ellos los métodos de una agricultura húmeda. Llevaron también las semillas de cosechas que habían resultado adecuadas en condiciones de humedad; pero pronto se dieron cuenta de que los tipos y variedades de cosechas que se habían empleado en el Este no resistirían al clima de las Planicies: El maíz no tenía éxito en la mayoría de los años y los trigos blandos del Este no daban rendimientos satisfactorios en ellos.

Sólo se desarrollaron nuevos métodos con la llegada de ciertos europeos, tales como los alemanes y rusos que se establecieron en el centro y en el oeste de Kansas y que traían con ellos de las regiones vecinas al mar Negro, variedades de trigos duros rojos de invierno que se habían cultivado en condiciones semejantes a las de las grandes planicies. Desde entonces se han hechos grandes progresos en las variedades y métodos de manejo de las tierras y cosechas y se ha obtenido una mayor estabilidad agrícola en todas las localidades de labranza seca.

La mejoría en los métodos tuvo dos orígenes: La dura experiencia obtenida por los agricultores en el nuevo y difícil medio, y el trabajo de las estaciones experimentales.

EN 1905 EL CONGRESO AUTORIZÓ el establecimiento de estaciones experimentales para estudiar los problemas de las tierras de sequía, y en la década siguiente se establecieron aproximadamente 25 estaciones en las áreas de labranza seca.

Algunas estaciones se ocuparon del ganado. Otras estudiaron la horticultura, la mejoría del paisaje y la silvicultura, a fin de mejorar las condiciones de vida en las Planicies pero su trabajo consistió principalmente en estudiar los problemas de las tierras y de las cosechas, la prueba y comparación de métodos de producción, la conservación de la humedad de la tierra y posteriormente la conservación de la tierra misma.

LA FALTA DE RECONOCIMIENTO de las posibilidades de la tierra produjo gran número de fracasos en las áreas de tierras secas. Muchos de los críticos problemas de ellas se debieron al arado de las praderas que no eran apropiadas para la producción de cosechas en sitios de lluvias limitadas. Las tierras son especialmente difíciles en la parte Sur, ya que son muy arenosas o poco profundas, y se calcula que en 1954 se cultivaron 7 u 8 millones de acres en tierras de esa especie en las Grandes Planicies del Sur. Aun las tierras moderadamente arenosas y profundas de las regiones de tierras secas, son difíciles de proteger contra los daños causados por los vientos si se utilizan para cultivos. Por lo tanto, sólo es recomendable cultivarlas ocasionalmente y deben quedar cubiertas de hierba por lo menos la mitad del tiempo.

Los declives excesivos aumentan la complejidad del problema de la erosión. Las tierras cultivadas que tienen declives de 2 a 3% y que se encuentran en la zona de 17 pulgadas de lluvia de las Planicies del Sur, tienden a dañarse dos y media veces más rápidamente que las semejantes que están casi planas. Cuando las lluvias llegan a 20 pulgadas, las proporciones de erosión aumentan casi 16 veces.

Por lo tanto, debe darse gran atención al declive de una porción de tierra para decidir si es apropiada para cultivarse durante largo tiempo.

LOS GANADEROS FUERON LOS PRIMEROS pobladores de las Planicies y otras áreas de tierra seca de los Estados Unidos de Norteamérica. Hasta entonces, los indios habían obtenido gran parte de su alimento de las grandes manadas de búfalos. El ganado doméstico reemplazó a los búfalos y los ganaderos ocuparon virtualmente las Planicies como región de pastado.

A medida que aumentaron los pobladores y crecieron los poblados, aumentó la demanda de tierras agrícolas y los ganaderos se vieron obligados a retirarse gradualmente hasta que se aprovechó toda la tierra que podía ararse fácilmente. Desapareció la pradera abierta y el alambre de púas rodeó campos arados y zonas

de pastos. En gran parte, sólo se dejaron las tierras incultas para pastos, que los agricultores empleaban para las pequeñas manadas que recibían una parte de su alimento de las cosechas sembradas en las tierras aradas.

Este sistema de manejo del ganado se ha convertido en uno de los tipos estables de la labranza de tierras secas. El individuo que vive de la tierra y la cultiva durante todo el año, ordinariamente lo pasa mejor, y tiene mejores condiciones de vida si cuenta con algún ganado.

Por lo tanto, puede preparar su sistema de cosechas aprovechando la tierra para pastos y produciendo también granos y pasturas para el invierno. Su precaución principal consiste en ajustar el número de cabezas de ganado a la cantidad de forrajes y pasturas con que sea probable que cuente en años desfavorables. Entonces puede tener una reserva de suministros de alimentos para los años malos, o puede vender parte de ella durante los años buenos.

Las cosechas que se cultivan para forraje varían en diferentes partes del área de labranza seca. En la parte sur de las Planicies pueden usarse los sorgos de grano, la hierba del Sudán u otros tipos de sorgo como heno para suplementar los pastos naturales. Pueden cultivarse ciertas legumbres, tales como chícharos forrajeros o judías pintas, si el clima es favorable, y en muchos sitios puede utilizarse el trigo en ciertas épocas como pastura si se evitan los excesos de pastado o el pastado tardío.

En las partes centrales y del Norte pueden usarse otras cosechas para suplementar las pasturas. Puede producirse cierta cantidad de maíz, pero los sorgos son menos apropiados que en las zonas más al Sur. La cebada y la avena son también cosechas forrajeras, pudiendo usarse asimismo el centeno como pastura, y en ciertas localidades se siembra juntamente con el alverjón.

En toda la zona de tierras secas el ganado doméstico parece ser el tipo mejor adaptado al clima y a los alimentos disponibles. Hacen buen consumo de las hierbas nativas y pueden pasar el invierno con pasturas gruesas o heno de hierbas nativas.

La producción de ganado constituye la industria principal de las extensas áreas en muchas partes de las Planicies. Las praderas pueden concentrarse en un gran bloque de terreno que sólo tiene áreas limitadas de tierras de labranza, y las áreas que allí existen pueden ser en gran parte de riego. Ejemplos de estas extensas áreas de praderas son las colinas arenosas de Nebraska y los terrenos de hierbas cortas del este de Wyoming, Montana, y varios otros Estados del Oeste.

En algunas áreas el ganado lanar ha pastado en las montañas y al pie de las colinas. Los Estados de Texas, Wyoming, Montana, California, New Mexico, Utah e Idaho han producido miles de ovejas y carneros como ganado de pradera. Este es un tipo de producción de ganado adaptable a las regiones de escasas lluvias; pero no se clasifica como explotación típica de las tierras secas, ya que en esas áreas es principalmente una producción de ganado de tipo de pradera y requiere una producción mínima de cosechas para sostenerlo.

LA EROSIÓN DE LA TIERRA causada por los vientos y el agua se ha convertido en un grave problema en casi todas las áreas de labranza seca. Hay que tomar precauciones especiales contra la erosión en donde se ha roto la tierra superficial y se han producido cosechas cultivadas. En los agudos declives, un fuerte aguacero ocasional o el agua de la fusión de las nieves puede causar considerable cantidad de erosión si la tierra se encuentra en condiciones de deslavarse.

En tierra plana, así como en tierra ondulada o de colinas, la erosión producida por el viento causa grandes daños a las cosechas y a las tierras. En casi todas las regiones de labranza seca el control de la erosión causada por el viento es uno de los puntos más importantes de cualquier sistema de labranza. La erosión causada por el viento puede no ser grave en todos los años, pero constituye una constante amenaza y puede ocurrir casi en cualquier año si se han descuidado los principios de control.

Las tierras arenosas son más susceptibles a la erosión causada por el viento y en ellas es más difícil de controlar. Las tierras de contextura fina pueden también sufrir perjuicios con la erosión causada por el viento, y durante largos periodos de sequía pueden dañarse debido al deslizamiento de la tierra.

Se han desarrollado algunos métodos eficaces y sencillos para disminuir la erosión causada por el viento, y algunos de esos principios de control más importantes son los siguientes:

Manténgase la tierra cubierta con una cosecha en desarrollo, por tanto tiempo como sea posible.

Cuando la tierra no contenga una cosecha en desarrollo, consérvese en ella el residuo de la cosecha anterior mediante el empleo de coberturas de rastrojo, labrando la tierra con un implemento que pulverice el suelo sin voltearlo ni enterrar los residuos.

Usense las fajas de cosechas, o sean fajas alternadas de cosechas en desarrollo y de rastrojo o de barbechos con cubiertas de rastrojo.

Utilícese el barbecho de terrones.

Aprovéchense las cortinas protectoras de árboles o las fajas con cosechas de crecimiento alto para proteger las tierras adyacentes.

Utilícense medios de labranza de emergencia cuando la tierra comience a deslizarse.

Se discute el equipo necesario para emplearse contra la erosión causada por el viento en los métodos de preparación de almácigos para el trigo.

Deben tomarse medidas para evitar la erosión causada por el viento, por lo menos un año antes de que sea probable que ocurra la erosión. Si se intenta controlar la erosión por medio de cortinas protectoras de árboles, hay que plantarlos varios años antes de que pueda esperarse que produzcan algún efecto.

En muchas áreas es sumamente eficaz el método de cubiertas de rastrojo, que implica el uso de rastrojos, paja, tallos u otras formas de desechos para disminuir la velocidad del viento al nivel del suelo y reducir así su capacidad para remover la tierra. Una forma común de cubierta de rastrojo es el rastrojo de trigo y la paja que queda después del empleo de trilladoras combinadas, que debe dejarse en la superficie durante la preparación de los almácigos para la siguiente cosecha. Las cosechas de surco que dejan grandes cantidades de rastrojo pueden suministrar también una protección eficaz.

Aunque gran parte de las plantas de hierba del Sudán o de sorgo se remueven para heno o forrajes, dejan todavía una abundante cantidad de rastrojo en los surcos. Si se cortan a una altura de 6 a 12 pulgadas, dependiendo de la densidad, el campo puede quedar razonablemente bien protegido. Si es posible, ese rastrojo debe quedar en pie hasta que se siembre la siguiente cosecha. A veces es posible sembrar pequeños granos o hierbas mezcladas en el rastrojo sin necesidad de cultivo previo, si no hay hierbas. Si esto puede hacerse, el rastrojo viejo proporcionará una eficaz protección contra la erosión causada por el viento mientras comienza a desarrollarse la nueva cosecha de hierbas. Las cañas de maíz o el rastrojo escaso no suministran ordinariamente una protección adecuada.

En algunas regiones se ha usado extensamente un tercer método, que consiste en utilizar fajas de cosecha para controlar la erosión causada por el viento. Las fajas alternadas de trigo y barbecho pueden tener de 5 a 10 varas de ancho o aún más, y a veces se trazan en ángulo recto a la dirección de los vientos más perjudiciales. Otras veces las fajas se trazan en el sentido de los contornos para obtener la mayor protección posible contra el desbordamiento y la erosión durante las lluvias abundantes. Si se manejan las fajas de barbecho con el método de cubiertas de rastrojo. puede conseguirse ordinariamente una protección casi completa contra la erosión causada por el viento.

En este sistema, una faja contendría trigo en desarrollo sembrado en tierra cubierta de rastrojo para protección contra el esparcimiento de la tierra, y las fajas adyacentes recibirían el tratamiento de barbecho en el que la tierra se ara en el subsuelo con implementos que dejan el residuo en la superficie. Después de la recolección del trigo, el rastrojo y

la paja protegen esa faja y las fajas de barbecho se siembran con trigo, quedando así protegida la tierra en todo tiempo.

Puede usarse el barbecho de terrones con cualquier tipo de barbecho. Si la superficie se deja cubierta en su mayoría con terrones que no puedan ser movidos por el viento, se evitará el esparcimiento de los materiales finos. Las tierras de contextura fina forman terrones bastante estables que protegen la superficie; pero no ocurre lo mismo con las tierras arenosas, y aunque éstas se trabajen cuando están húmedas, los terrones se desbaratan rápidamente. Por lo tanto, la eficacia del método depende de la clase de tierra.

La utilización de cortinas protectoras de árboles tuvo un gran estímulo durante la década de 1933 a 1942. Se plantaron millones de árboles en las Grandes Planicies con la idea de que podrían afectar considerablemente el movimiento de los vientos y servir de mucho para controlar la erosión causada por ellos. En algunas áreas se han colocado fajas angostas a intervalos de 20 a 40 varas.

Cuando los árboles alcanzan una altura considerable en esas condiciones, son bastante eficaces para disminuir los daños causados por el viento a la tierra o las cosechas.

El empleo de cortinas de protección parece haber llegado a su máximo por diversas razones: En una granja quitan un espacio considerable de la superficie destinada al cultivo; su valor estético es grande, pero su valor económico puede ser dudoso, y contamos con métodos agronómicos para disminuir la erosión causada por el viento.

Ordinariamente los métodos de labranza de emergencia se emplean cuando se han descuidado los métodos más eficaces. Si un campo cultivado no tiene una cosecha en desarrollo o residuos, puede iniciarse la erosión causada por el viento, y si entonces se vuelve áspera su superficie, puede detenerse el movimiento de la tierra en toda el área. Cualquier implemento de labranza de tipo de pala, tal como un arado, arado de doble vertedera o cultivador de pala, volteará los terrones o trozos de tierra que tienden a impedir el movimiento de ella. Uno o dos surcos dobles espaciados a una distancia de 2 ó 3 varas a través del campo, o un campo de trigo, pueden detener el movimiento de la tierra e impedir que se deslice.

Puede ser necesario hacer más surcos entre los que se hicieron primeramente si el deslizamiento se inicia de nuevo. Pueden usarse implementos de disco para detener la erosión causada por el viento en tierra que se ha arado temporalmente; pero como los discos tienden a pulverizar la tierra y no voltean los terrones, son menos eficaces que los implementos de tipo de pala. Si se conserva la tierra cubierta con rastrojo, rara vez se necesitarán medidas de emergencia. Esas medidas a veces son necesarias en gran escala cuando una extensa sequía ha disminuido la cantidad de cubiertas protectoras de rastrojo que se hayan suministrado. Algunos Estados han promulgado leyes que exigen a los agricultores el empleo de medidas de emergencia siempre que sea necesario.

La erosión causada por el agua es un problema más serio de lo que generalmente se cree en las áreas de labranza de tierra seca. En la parte oriental puede esperarse que ocurra una vez cada 5 años una intensidad de lluvias de 3 pulgadas por hora durante 30 minutos. La cifra comparable más al Oeste es aproximadamente de una pulgada. Sólo las tierras permeables o las que están protegidas con residuos pueden absorber las lluvias de esa intensidad.

El desbordamiento resultante crea un problema de erosión debido al agua en las tierras más pendientes y en tierras casi planas si la longitud de los declives es considerable, porque el agua se acumula en la parte baja de ellos. Una cubierta de rastrojo controla eficazmente tanto la erosión causada por el agua como por el viento. El desecho que se conserva en la superficie quebranta la fuerza de las gotas de lluvia, disminuye la velocidad con que el agua se mueve a través de la tierra y produce condiciones favorables para la absorción de agua en su superficie. Si los declives son tan largos o pronunciados que los resultados sean incapaces de controlar la erosión, se ne-

cesitan medidas mecánicas tales como la construcción de terrazas o bordos de contorno.

Generalmente se considera que son aplicables las terrazas a los declives con pendiente mayor de 1% en los que aún las pequeñas concentraciones de flujos de agua alcanzan velocidades que pueden producir erosión. Las terrazas interceptan el desbordamiento antes de que alcance proporciones considerables.

En los largos declives de menos de uno por ciento pueden necesitarse una o más desviaciones para disminuir su longitud, a fin de controlar la erosión mediante el empleo de medidas vegetativas.

Las desviaciones pueden estar a una distancia de varios cientos de pies, y aun en los declives más suaves algunos agricultores prefieren un sistema regular de terrazas con espaciamientos menores, porque ayudan a conservar el agua. La siembra y cultivo de cosechas de surco a lo largo de los contornos tienen efectos benéficos en ciertos años y es de especial importancia en las tierras que contienen terrazas. Se obtienen resultados extraordinariamente benéficos con la siembra de trigo en los contornos si se usan sembradoras profundas de surco.

El término "rotación de cosechas" se aplica con menos propiedad en las áreas de labranza seca que en otras. Hay más pocas cosechas de donde escoger y pocas legumbres que puedan emplearse generalmente para la conservación del suministro de nitrógeno en la tierra. Por lo tanto no es tan importante seguir un orden determinado de cosechas. Una de las consideraciones principales consiste en escoger ese orden con la mira de obtener un suministro de humedad para la cosecha siguiente. Por ejemplo, ordinariamente el maíz, en las áreas donde se adapta, deja la tierra con mejor contenido de humedad que las pequeñas gramíneas, y el trigo por lo común agota casi totalmente la humedad disponible de la tierra para la época de la recolección. Por lo tanto, debe pasar algún tiempo antes de que se siembre otra cosecha, haciendo necesaria la temprana preparación de los almácigos si a la recolección del trigo sigue otra siembra del mismo cereal.

A menudo puede sembrarse trigo en tierras en las que se ha cultivado maíz después de que la cosecha se remueve para forrajes o ensilaje, o puede sembrarse en medio de los surcos de maíz ampliamente espaciados.

Otra razón para no emplear el término "rotación" con tanta frecuencia, es la posibilidad de que fallen las cosechas. Debido a las grandes fluctuaciones en las lluvias anuales, en casi todas las áreas de tierra seca ocurren fallas totales o casi totales de las cosechas, que pueden romper el orden de una rotación, y entonces el agricultor tiene que sembrar la cosecha que ofrezca la mejor probabilidad de éxito bajo las condiciones de humedad de la tierra y de clima que puedan existir.

Algunos ejemplos de los tipos de sistemas de cosechas que podrían emplearse en diferentes partes de las áreas de labranza de tierras secas de los Estados Unidos de Norteamérica, son los siguientes: Maíz, trigo; maíz, trigo, barbecho, trigo; maíz sembrado en surcos anchos, trigo, trigo sembrado en tierras que se trabajaron temprano; trigo, barbecho; trigo, sorgo, barbecho; maíz removido para ensilaje, trigo; maíz, cebada, barbecho, trigo; trigo, chícharos para enlatar; trigo, hierbas durante varios años, sorgo, pequeñas gramíneas; kafir, chícharo forrajero, sorgo de grano (planicies del Sur).

El tipo de sistema de cosechas que se use en una granja determinada ha evolucionado sobre la base del tipo de labranza que un agricultor desee emplear, y a la fecha existen varios tipos de granjas de tierras secas bastante diferentes.

El primero es la granja común que tiene una cantidad considerable de ganado. Ordinariamente este tipo ocurre en localidades en las que hay disponible una buena cantidad de tierras de pradera o de pasturas que puedan proporcionar pastos en verano. Deben producirse granos y forrajes en cantidad suficiente para cubrir las necesidades del ganado durante el invierno. Prácticamente todas las cosechas que se producen se consumen en la granja, y la mayor parte de las utilidades se obtienen de la venta de ganado

y productos derivados del mismo. Cierta cantidad de ganado y una superficie limitada para cosechas alimenticias pueden constituir un sistema más estable e ingresos más constantes que un sistema con una sola cosecha de trigo. En muchas áreas las utilidades totales a largo plazo pueden ser mayores con un sistema de trigo, pero hay que admitir que podrían ocurrir ciertas fallas totales. El agricultor debe decidir si puede soportar las dificultades económicas a fin de obtener a la larga mayores utilidades.

Otro tipo de labranza mixta es el de la granja que produce granos que se venden al contado y en la que las utilidades se derivan de la venta de granos, semillas o heno.

En la granja triguera, prácticamente todas las utilidades se derivan de las ventas de trigo. El agricultor vive de la tierra y dedica casi exclusivamente todo su tiempo a esa sola empresa.

El agricultor "viajero" es el cultivador ausentista de trigo que puede tener una profesión o negocio en la ciudad y que ocasionalmente visita su granja o emplea a alguien para que efectúe las tareas de labranza, sin que se convierta en parte de la comunidad agrícola. No se da cuenta de la erosión que el viento causa en la tierra durante la primavera, y probablemente no hace nada para ayudar a controlarla en esa estación.

ALGUNOS AGRICULTORES TRATAN de ajustar sus plantíos sobre la base de la humedad que se encuentra presente en la tierra al tiempo de la siembra. Esta práctica suministra mayores entradas totales durante cierto periodo de tiempo, aunque puede haber variaciones considerables de año en año.

Supongamos que un agricultor inició sus actividades bajo la base de un sistema de trigo-barbecho. Si a la cosecha siguen lluvias abundantes, podría tener humedad en la tierra a una profundidad de 2 pies o más. Podría decidir después no dejar la tierra en barbecho al año siguiente, sino volver a sembrar trigo otro año más. Igualmente podría dejar sin sembrar las tierras trigueras con la idea de dejarlas en barbecho para sembrar otra cosecha de trigo; pero al encontrar la tierra bien saturada de humedad en primavera, podría escoger entre varias cosechas. Podría reservar la tierra para trigo; pero en ese caso no obtendría ninguna cosecha en ese año, y en vez de ello podría sembrar la tierra con maíz, sorgo, papas o cualquier otra cosecha, utilizando así la humedad de la tierra tan pronto como fuera posible después de su almacenamiento.

La idea de cultivar de acuerdo con los suministros de humedad proporciona un principio básico para el agricultor de tierras secas. Si sembrara una cosecha en estación cada vez que tuviera un suministro adecuado de humedad en la tierra y guardara su semilla cuando no cuenta con esa humedad, sus prácticas de labranza tendrían una base realista, y arriesgaría menos contando con la posibilidad de que ocurrieran lluvias después de la siembra. Si se adoptara esa idea, una pala cuadrada o una barrera de tierra se convertirían en equipo normal de toda granja de tierra seca, ya que cualquiera de esos implementos permite al agricultor determinar rápidamente la profundidad de almacenamiento de humedad en la tierra.

La humedad disponible en la tierra es una de las principales preocupaciones en la labranza de tierras secas. Durante el tiempo que una cosecha está en la tierra, la lluvia rara vez es suficiente para asegurar buenos rendimientos. Por lo tanto, es necesario tener ciertas reservas de humedad almacenadas en la tierra antes de sembrar cualquier cosecha.

Los investigadores de la Estación Agrícola Experimental de Kansas, en Hays, encontraron que cuando se sembraba trigo en tierras secas sin ninguna humedad disponible almacenada en el subsuelo, su promedio de rendimiento era de 4.9 bushels por acre; que los rendimientos eran de 8.7 bushels por acre cuando la tierra quedaba humedecida a un pie de profundidad; que eran de 15.2 cuando estaba humedecida a 2 pies de profundidad, y que eran de 26.5 bushels por acre cuando la tierra quedaba humedecida a 3 pies o más. La desigual distribución de las lluvias y la frecuente ocurrencia de extensos periodos de sequía han llevado a la práctica de los barbechos. Esto sig-

nifica el mantener la tierra libre de cosechas y de hierbas durante cierto periodo de tiempo, a fin de que puedan acumularse en ella la humedad y los nitratos para utilizarlos en la siguiente cosecha.

En el territorio triguero la práctica de dejar la tierra un año para sembrar trigo seguida de un año de barbecho se ha vuelto muy común. En el centro de las Grandes Planicies se recolecta una cosecha de trigo en julio, y a menos de que los campos se llenen de hierbas, se deja la tierra sin ningún tratamiento hasta la primavera siguiente cuando se inician las operaciones de labranza para el barbecho. Se da una pasada o se ara la tierra que va a dejarse en barbecho aproximadamente el 1º de mayo o cuando aparecen hierbas o trigo voluntario, trabajándose entonces la tierra sólo lo suficiente para disminuir las hierbas. Muchos agricultores trabajan la tierra con más frecuencia de la necesaria para reprimir las hierbas; pero lo hacen para romper la corteza de la superficie de la tierra arada, a fin de disminuir el desbordamiento durante las siguientes lluvias y evitar también la erosión causada por el viento en las tierras que tienen cortezas lisas.

Los trabajos efectuados en gran número de estaciones experimentales de tierras secas, han demostrado que la labranza profunda de la tierra no disminuye perceptiblemente los efectos de la sequía. No ha aumentado suficientemente los rendimientos de las cosechas para que sean productivos independientemente del método empleado para ahondar la capa cultivada de tierra. A pesar de las pruebas obtenidas durante 60 años de experimentos que no han podido comprobar que se obtenga ningún provecho con la labranza profunda o labranza del subsuelo, el interés en esta práctica aumenta y disminuye periódicamente. Probablemente la labranza profunda tenga cierto valor en relación con la aplicación más profunda de fertilizantes, pero se ha dado muy poca atención a este asunto en las regiones de lluvias limitadas.

Los fertilizantes se han usado muy poco en la mayoría de nuestras áreas de labranza seca, ya que esas tierras están razonablemente bien provistas de los elementos minerales necesarios para las plantas. En algunos sitios la adición de fósforo ha dado resultados favorables y comúnmente se encuentra presente el nitrógeno suficiente para permitir que las cosechas utilicen la humedad disponible, especialmente si alguna de ellas sigue a un barbecho.

El barbecho no sólo permite que la tierra almacene agua, sino que al mismo tiempo acumula nitratos. El empleo de fertilizantes de nitrógeno en las tierras de barbecho ha dado pocos resultados en la mayoría de los sitios y ordinariamente se considera impracticable. En algunas tierras, especialmente en las más arenosas, se han obtenido buenos resultados con los fertilizantes de nitrógeno, aun en las tierras en barbecho, y se han obtenido aumentos en los rendimientos de los granos y paja, contenido de proteínas bajo diversas condiciones.

Por lo que hace al futuro, a medida que disminuye gradualmente la fertilidad de las tierras de las regiones secas debido a la producción de cosechas, pueden esperarse mayores dividendos del empleo de fertilizantes. Después de medio siglo de labranza, los fertilizantes de nitrógeno pueden comenzar a producir mayores dividendos en muchas tierras de zonas secas. Si una cosecha sigue a otra sin que haya un barbecho entre ellas, la adición de nitrógeno en forma de fertilizantes puede aminorar un tanto la ausencia de barbechos, especialmente si la humedad es razonablemente adecuada. Los análisis químicos de tierras en varias partes de la región de tierras secas han demostrado que han perdido del 25 al 40% de su contenido de nitrógeno desde que comenzaron a cultivarse.

Como muchas de esas tierras sólo se han cultivado durante 30 a 50 años, esas pérdidas pueden considerarse como graves, y el empleo de fertilizantes de nitrógeno puede ser sólo cuestión de tiempo. A medida que continúan cultivándose las tierras, se determinará la necesidad de fósforo u otros elementos minerales en varias localidades.

El empleo de estiércol de establo ha

dado escasos resultados, e igualmente el abono verde no ha sido muy eficaz para mejorar el crecimiento de la cosecha siguiente. Los beneficios obtenidos con estos tratamientos pueden ser mayores después de que se haya cultivado la tierra por mayor tiempo y que los experimentos ulteriores determinen los métodos más eficaces para su empleo.

Algunos agricultores queman la paja y el rastrojo antes de preparar los almácigos de la siguiente cosecha. A menudo han encontrado que los rendimientos son tan altos como los de las tierras en donde no se quema la paja, y como la labranza se facilita después de esas quemas, han preguntado si es buena esa práctica. La explicación de los buenos resultados obtenidos después de quemar el rastrojo comprende varios puntos. En primer lugar, el quemar todo el desecho de un campo hace posible un buen trabajo de arado.

La proporción de acumulación de nitratos puede aumentar durante cierto tiempo después de que se quema la paja. Los microorganismos de la tierra que hacen que se descomponga la paja emplean cierta parte del nitrato que se encuentra presente en la tierra para su propio crecimiento. En consecuencia, esa reacción no ocurre en la tierra quemada y puede almacenarse mayor cantidad de nitrógeno para uso inmediato de las cosechas de trigo. Sin embargo, si la paja se quema todos los años durante cierto número de ellos, desaparece gradualmente la ventaja del aumento de rendimientos obtenida al principio, pudiendo haber mayores rendimientos en las tierras en que se entierra la paja.

La gran ventaja de enterrar la paja en vez de quemarla consiste en que ésta aumenta la capacidad de absorción de agua de la tierra y la protege contra la erosión causada por el viento. La cantidad de nitrógeno que se devuelve a la tierra con la paja es aproximadamente de 10 libras por tonelada de paja.

El equipo empleado para la labranza de tierras secas por los primeros pobladores era el que llevaban con ellos. Los duros terrones de hierba se rompían primero con un arado de terrones o roturador de praderas que tenía una reja larga o una barra de acero para voltear la sección de surco.

Vino después el arado de rastrojo que tenía una reja mucho más corta, que volteaba la sección de surco y que pulverizaba considerablemente la tierra.

UNA GRAN PARTE DE LAS PRIMERAS investigaciones efectuadas en las granjas experimentales de tierras secas se relacionaba con la oportunidad y profundidad de los arados para diversas cosechas. El arado era una buena manera de iniciar la preparación de una cama de semillas; pero más tarde los agricultores descubrieron que tenía algunas desventajas, ya que permitía una erosión considerable durante las lluvias abundantes y dejaba la tierra expuesta a la grave erosión causada por el viento.

Desde entonces se han introducido otros tipos de implementos de labranza. Uno de los que se emplean más extensamente es el arado de discos de un solo sentido, que revuelve la tierra, es muy fácil de usar y por medio del mismo puede cubrirse muy fácilmente la tierra. Su desventaja principal consiste en que siendo un implemento de discos, tiende a pulverizar finamente la tierra y a enterrar completamente los residuos de cosecha. Puede usarse en las primeras operaciones para destruir las hierbas y plantas voluntarias; pero si se usa una segunda vez o más, puede enterrar gran parte de los residuos y causar como consecuencia la erosión producida por el viento.

Un implemento más adecuado para la segunda operación, y las subsecuentes, es el cultivador de subsuelo, que ordinariamente es una máquina con rastras en V que se ha venido empleando en la labranza con cubiertas de rastrojo. Mediante el empleo cuidadoso del cultivador de subsuelo se pueden conservar residuos suficientes de una cosecha para acondicionar la tierra hasta que se inicie la siguiente, a fin de controlar la erosión causada por el agua y por el viento. Naturalmente, con este sistema de coberturas de rastrojo pueden usarse otros métodos útiles, sistemas prácticos de cultivo de cosechas, siembra de cosechas en fajas,

barbechos de terrones y, a veces, la construcción de terrazas.

El uso de equipo mecánico ha ayudado grandemente al agricultor de tierras secas. Los tractores y el equipo pesado le permiten efectuar las operaciones de labranza, siembra y recolección en menos tiempo y en la época más conveniente. Las operaciones oportunas pueden ser muy importantes, no sólo para la cosecha sino también para la represión de insectos y enfermedades.

La siembra con hierbas de las tierras de labranza seca se ha sugerido como método de tratamiento de las tierras secas que no se adaptan bien al cultivo.

Los cultivadores que necesitan cantidades adicionales de tierras de pastos para llevar a cabo su programa de ganado, emplean la resiembra en gran escala, pero muchos creen que obtendrán mayores dividendos de la tierra si ésta se dedica a cosechas de cultivo. Otra razón que impide que la resiembra de hierbas no se emplee más extensamente es que las hierbas son difíciles de establecer en tierras cultivadas. Puede seguir a la siembra un periodo de tiempo muy seco que haga que la germinación sea muy pobre y que se disminuyan considerablemente las oportunidades de supervivencia de los brotes. En los 17 Estados del Oeste, sólo se siembra con hierbas aproximadamente la tercera parte del total que se siembra en el resto del país.

Los tipos de hierba empleados en diferentes partes del área de labranza seca varían con las condiciones de clima, y los métodos de siembra varían también grandemente. A fin de conservar la humedad y obtener protección contra la erosión de la tierra, gran parte de la siembra de hierbas se está haciendo en cualquier forma de cobertura de residuos. En las Planicies del Norte, es práctica común sembrar la semilla de hierba en el rastrojo de trigo a fines del otoño, sin ninguna preparación de almácigos. La semilla se encuentra en la tierra, lista para germinar e iniciar su crecimiento, en los primeros días calientes de primavera, cuando es probable que tenga humedad suficiente.

En las Planicies del Sur puede aplicarse cierto cultivo a las camas de semilla; pero la siembra es más conveniente empleando sembradoras que tienen rejas profundas que permiten que la semilla se siembre a una distancia suficiente para que obtenga humedad, pero no tan honda que impida que salgan los brotes para producir un buen plantío. La siembra con alguna cubierta protectora de residuos ayuda a conservar la humedad para la germinación y evita que las plantas tiernas sean arrancadas o destruidas por la tierra o partículas de arena.

El programa de siembras en las áreas de tierras secas depende de cierto número de circunstancias. Las asignaciones de tierras trigueras pueden inducir a muchos agricultores a sembrar hierbas en las tierras ociosas, pudiendo afectarlas también un cambio en la demanda relativa de trigo y ganado. Cualquier tendencia general hacia una labranza mixta, alentará la siembra de hierba en mayores superficies. Eventualmente podremos obtener un mejor ajuste de las cosechas cultivadas a las tierras más adecuadas para tal objeto. Las tierras ásperas, o aquellas que por cualquiera otra razón no son apropiadas para el cultivo, pueden sembrarse gradualmente con las hierbas que se adapten mejor a cada localidad.

F. L. Duley *es supervisor de proyectos de investigación de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas, Sección Occidental, del Departamento de Agricultura, en Cooperación con la Universidad de Nebraska.*

J. J. Coyle *es ingeniero agrícola especializado de la División de Ingeniería del Servicio de Conservación de Tierras en Washington, Distrito de Columbia.*

El cuidado del agua en las tierras de pradera del Oeste

F. G. Renner y L. D. Love

Desde que conducían las primeras manadas a través de los ríos "de una milla de ancho y una pulgada de profundi-

dad" de las Grandes Planicies en su camino a los mercados del Norte, los ganaderos del Oeste han apreciado la importancia del agua.

Una corriente permanente significaba una buena localidad para fundar un rancho. Las praderas de riego cercanas aseguraban un suministro abundante de heno nativo. La corriente de los manantiales significaba el diario suministro de agua para el ganado, y si esos manantiales estaban bien distribuidos, podía utilizarse más eficientemente la hierba con menos trabajo para los propietarios. Aun el agua subterránea era importante. Si los suministros superficiales eran escasos o intermitentes, el agua subterránea que podía obtenerse de pozos poco profundos permitía la utilización de grandes áreas de nuevas praderas, que de otro modo quedarían improductivas.

Sin embargo, entre todas esas aguas el ganadero da más importancia a la lluvia, ya que es el origen de sus suministros de agua tanto superficiales como subterráneos y proporciona la humedad creadora de la vida que es indispensable para una buena cosecha de hierba. Si las lluvias escasean las cosechas de hierbas son cortas, y si la sequía persiste durante muchos meses el ganadero no tiene otra alternativa que buscar pastos más verdes en otro lado, traer pasturas costosas o vender su ganado y esto ocurre sobre todo cuando las praderas se agotan. Los ganaderos del Oeste, que siempre están pendientes del clima, han sabido desde hace mucho tiempo que su negocio depende del agua y han invertido sumas considerables para obtener suministros constantes de ella, para protegerlos, y en épocas pasadas han llegado hasta a luchar por ellos.

Hasta hace poco la atención a los problemas de agua de las praderas del Oeste se ha concentrado en gran parte en la obtención del agua necesaria para el ganado. Actualmente la mayor parte de los ranchos del Oeste cuentan con agua suficiente para este fin, aunque hay que desarrollar muchos servicios de agua adicionales para mejorar la distribución de los pastos. En lo futuro, la tarea principal consiste en aumentar la cantidad de agua disponible para la producción de hierba. Ni siquiera es necesario aumentar la precipitación, aunque también se ha tratado de hacerlo. Se obtiene el mismo efecto de muchas maneras distintas, muchas de las cuales están siendo empleadas por los rancheros prácticos en cientos de miles de acres, frecuentemente con resultados notables.

Si se mide en relación con el estado de las praderas, el total de la producción de forrajes en el Oeste es un poco más de la mitad de lo que podría ser. Una de las conclusiones que pueden sacarse de este hecho es que se desperdicia la mitad del agua en las praderas occidentales, ya sea en la producción de vegetación inútil, por exceso de evaporación o debido a los desbordamientos. Si se eliminaran las pérdidas que pueden evitarse y si se usaran en forma eficiente los mayores suministros de agua, podría doblarse la producción de forrajes, y de todas las medidas disponibles para conseguirlo, la mejoría en el manejo es la que ofrece mayores posibilidades.

La cantidad de vegetación en la tierra durante la estación de pastado tiene gran influencia sobre la cantidad de agua que se destina a usos productivos, la cantidad que se evapora y la que escapa como desbordamiento. En consecuencia, la primera consideración para formar cualquier plan de manejo destinado al uso más eficiente del agua disponible, consiste en decidir la intensidad de utilización.

Esa intensidad debe ser tal que asegure en todo tiempo la mayor cantidad de vegetación en la tierra que sea consistente con una elevada producción de forrajes y con los constantes dividendos que se derivan del ganado. Ordinariamente una intensidad adecuada de utilización no sólo dejará más vegetación en la tierra, sino que al ahorrar agua causará también mayores rendimientos de los forrajes y, en consecuencia, una obtención más rápida de las utilidades derivadas del ganado y mayores dividendos netos.

Los muchos años de experiencia adquirida por los rancheros indican que "el tomar la mitad y dejar la mitad" es una buena regla general que puede aplicarse en casi todas las praderas. Sin em-

bargo, bajo ciertas condiciones aun esa utilización no es lo suficientemente leve. Un estudio de 7 años llevado a cabo en las praderas agotadas de pinos ponderosa, demostró que la remoción anual por el ganado del 50%, o más, de la hierba disminuyó aún más la vegetación y dio sólo un dividendo neto de 74 centavos por acre. En comparación, el uso más maderado que dejó en la tierra del 60 al 65% de la vegetación, mejoró las condiciones de las praderas y dio un promedio de dividendos de 1.35 dólares por acre.

Debe tenerse especial cuidado de ajustar la proporción de población del ganado de acuerdo con el crecimiento real de los forrajes, y la razón de ello es que la cantidad de forrajes producida normalmente en las tierras de pradera fluctúa grandemente de un año a otro. Por ejemplo, las praderas de mezquite rizado y hierba búfalo próximas a Los Angeles, Texas, produjeron 1,361 libras de forrajes por acre en 1946; 980 libras, en 1947, y 327 libras, en 1948, o sea menos de la cuarta parte de la producción de los dos años anteriores. Cuando esas grandes fluctuaciones en la producción de forrajes constituyen la normalidad y las praderas se pueblan de ganado basándose en condiciones normales, se desperdician forrajes en los años buenos y ocurren situaciones desastrosas en los malos. La única forma de evitar esto es variar la proporción de repoblación de año en año o durante el mismo año si es necesario, de acuerdo con la producción real de forrajes.

Una forma de aumentar el agua disponible para las hierbas, consiste en cerciorarse de que la tierra absorba las lluvias. Varios factores influencian la proporción de penetración del agua en la tierra, así como la cantidad que ésta puede retener, y normalmente incluyen la profundidad de la tierra, su porosidad y las condiciones de la superficie.

La cantidad de cobertura que queda durante y después del pastado tiene gran influencia, tanto en la porosidad como en las condiciones superficiales, y, por lo tanto, en la cantidad de lluvia absorbida por la tierra. Si la pradera se pasta continuamente, las capas superiores se vuelven compactas, se destruye y dispersa el desecho natural y hay muy poca vegetación que absorba la fuerza de las gotas de lluvia y evite el sellado de la superficie. En esas condiciones se esparce la mayor parte del agua y se retiene muy poca para el vigoroso crecimiento de las plantas existentes, a fin de asegurar un abundante suministro de forrajes para el ganado. Por otra parte, si la pradera se conserva en buenas o excelentes condiciones con la suficiente cobertura en todo tiempo a fin de evitar la consolidación y el sellado de la superficie, se absorbe gran parte de la lluvia y queda disponible para el crecimiento de las plantas.

El no conservar una buena cobertura de vegetación en la tierra puede producir condiciones de sequía aun cuando las lluvias sean normales. Las tierras de las áreas descuidadas se vuelven más secas y se resecan más frecuentemente que las semejantes que tienen buena vegetación. Es muy común observar que las lluvias de verano penetran solamente una pulgada o dos en las áreas desnudas, mientras que se humedece la tierra a una profundidad varias veces mayor cuando hay buena cobertura de plantas. En contraste, las temperaturas de la tierra bajan de 10° a 40° con una cobertura y la tierra conserva gran parte de su humedad muchos días después de que se secan las áreas que no están protegidas. La pérdida anormal de humedad bajo una cobertura reducida de plantas tiene un profundo efecto en el crecimiento y supervivencia de las mismas, cambiando las tierras de hierba en desiertos de maleza en algunas áreas y aumentando invariablemente las dificultades para que vuelvan a cubrirse de vegetación.

Los experimentos reales efectuados bajo gran diversidad de condiciones concuerdan con las observaciones de los efectos de la cobertura de plantas en la retención de humedad de la tierra. Por ejemplo, una tierra arenosa profunda con amplia cobertura de hierba azul corta, absorbió el 92% de la humedad de una lluvia de 2 pulgadas, mientras que la misma clase de tierra prácticamente sin

vegetación alguna absorbió solamente el 21%. Excepto en tierras muy poco profundas, fue mucho más importante la cantidad de cobertura que la contextura de la tierra o su profundidad para afectar la cantidad de agua absorbida. Una marga arcillosa profunda y permeable, de contextura fina, debidamente protegida con una densa capa de vegetación, absorbió 97% del agua de una tormenta de 2 pulgadas, o sea mayor cantidad que la arena profunda. La misma clase de tierra, pastada hasta dejar solamente una escasa cobertura de hierbas anuales, solo absorbió el 10% del agua.

UN ESTUDIO EFECTUADO EN COLORADO muestra la forma en que el pastado del ganado aumenta el desbordamiento y la erosión. Se han medido el desbordamiento y la erosión causados por los aguaceros y tormentas de verano, principiando en 1937, en 6 pequeñas parcelas del tipo de hierba de manojo-pino ponderosa. Las parcelas se encuentran en un declive de 17.5% con exposición al Norte, a una altura de 7,600 pies. El pastado moderado en ese tipo de praderas permite la utilización de 30 a 40% de la producción anual de hierbas; pero si el pastado es excesivo, hay una utilización de 60 a 75%. La altura del rastrojo de las especies principales, festuca de Arizona y hierba Muhlenberg de montaña, proporciona un índice preciso de utilización. Un análisis del desbordamiento en las praderas de control no tratada durante 16 años después de 1937, demostró que las tormentas individuales de verano que producen un desbordamiento superficial apreciable, ocurren en promedio 4 ó 5 veces al año, que el desbordamiento que ocurre durante los meses de julio a septiembre se debe a lluvias individuales y responde a las variaciones en la composición de los plantíos de hierbas según los afectan los pastos.

Antes de que las parcelas se sujetaran a las diferentes intensidades de pastado, el desbordamiento normal variaba de 0.24 a 0.27 de pulgada. Las diferencias no eran considerables desde un punto de vista estadístico; pero se volvieron significativas poco tiempo después del tratamiento, a medida que las cantidades normales de desbordamiento comenzaron a reflejar las variaciones de las intensidades de pastado. El desbordamiento normal por estación en 12 años fue de 0.34 de pulgada en las parcelas pastadas en exceso, de 0.22 de pulgada en aquellas que se pastaron en forma moderada, y de 0.11 de pulgada en las que no se pastaron.

El pastado ha causado también un aumento de la erosión, pero no hay proporción directa con la intensidad de utilización. Antes del pastado por el ganado, la erosión ocurrió como resultado de 4 tormentas separadas en 3 estaciones de verano, y varió de 111 a 163 libras por acre. Después de la iniciación del tratamiento de pastado, hubo 13 tormentas lo suficientemente fuertes para producir erosión. Los depósitos normales anuales por estación de ocurrencia fueron de 134, 145 y 316 libras por acre, respectivamente, en las parcelas que no se pastaron, en las que se pastaron moderadamente y en las pastadas con exceso. El pastado con exceso ha producido un aumento significativo en la erosión, mientras que ésta permaneció casi normal en las parcelas pastadas con moderación.

Se han confirmado esos estudios de parcelas en mayor escala con las pruebas de absorción de agua hechas en praderas nativas de 300 acres de pino ponderosa-hierba de manojo, en las que se han alcanzado las mismas metas de pastado moderado y excesivo desde 1942. Esas pruebas, efectuadas en tierras semejantes a las de las parcelas, demostraron que la capacidad de absorción de agua de las praderas nativas pastadas moderadamente, fue casi del doble (2.28 pulgadas por hora) que las de las praderas pastadas en exceso (1.18 pulgadas por hora). Igualmente, la cantidad de erosión de la tierra que ocurrió en cada pulgada de desbordamiento superficial, fue casi del doble en las praderas pastadas en exceso (263 libras por acre) que en las pastadas en forma moderada (121 libras por acre).

Los resultados son significativos. Un número cada vez mayor de rancheros del Oeste ha acabado por reconocer que

de ellos depende el aumentar la cantidad de humedad disponible para sus plantas de forraje. Dejando más vegetación en la tierra pueden duplicar o triplicar la cantidad de humedad que penetra en ella y aumentar realmente la cantidad efectiva de lluvias en esa misma proporción. El agua que se ahorra ayuda a la rápida reconstrucción de la pradera, y al mismo tiempo aumenta los suministros de forrajes.

Otra forma en que los ganaderos han tratado de aumentar el agua para la producción de hierbas consiste en disminuir el consumo de las plantas leñosas. Varias especies de salvia en todo el Oeste, el mezquite y el enebro en el Sudoeste, grandes cantidades de plantas de chaparral en las praderas de California, los robles enanos de Arkansas y Louisiana y muchas otras, infestan actualmente una cuarta parte de los 950 millones de acres de las tierras de pradera de los Estados Unidos de Norteamérica.

Esas plantas producen muy poco o ningún forraje y consumen el agua en forma poco eficiente. Muchos de esos arbustos necesitan de 2 a 4 veces más agua para producir una libra de materia seca que las hierbas perennes. Por ejemplo, la cantidad de agua necesaria para producir 740 libras de materia seca de mezquite, 600 libras de hierba de burro o 1,200 libras de salvia, produciría una tonelada de grama azul. Más aún, una vez que algunos de esos arbustos se establecen en tierras normales de hierbas, aumentan la aridez de la región, porque casi no dan protección contra el desbordamiento y hacen muy difícil el establecimiento natural de las hierbas. Si se disminuyen los plantíos de esas especies leñosas, quedarán disponibles grandes cantidades de agua que podrán emplearse mejor.

La extensión actual de esas especies leñosas en todas las tierras de hierbas es la consecuencia de una combinación de circunstancias que afectan adversamente las hierbas y favorecen la maleza, principalmente la utilización excesiva de las praderas, las sequías y el fuego. A veces no se hace uso adecuado del fuego para mantener bajo control ciertas especies de maleza, y en otras los incendios repetidos eliminan eventualmente las hierbas, favoreciendo ciertas especies de maleza resistentes al fuego. Es probable también que la práctica de poblar anualmente las praderas con una cantidad fija de animales sin tener en cuenta las sequías u otros periodos de escasa producción de forrajes, haya contribuido al incremento de algunas de esas especies leñosas.

Se está empleando una gran variedad de métodos para disminuir o eliminar esas plantas, y la extensa demanda de esos controles ha estimulado a los fabricantes para diseñar máquinas especiales para ese objeto.

En el mezquite se han empleado con éxito transportadores pesados dotados con barras cortadoras especiales, que seccionan las raíces y arrancan de la tierra los grandes arbustos, y para las plantas más pequeñas se emplean cortadoras rotatorias que consisten de pesados cilindros con hojas cortadoras. Algunos de los árboles con raíces menos profundas, tales como el enebro, pueden arrancarse por medio de un fuerte cable sujeto a un par de tractores o transportadores.

Se han empleado látigos mecánicos y algunos tipos de máquinas de labranza, tales como cortadoras de maíz en las grandes plantas de salvia; pero la mayor parte de ese equipo no es lo suficientemente fuerte para hacer ese trabajo de modo eficiente. Las segadoras pesadas son eficaces en ciertos tipos de maleza si hay pocas piedras en el suelo y el terreno es relativamente plano. Las rastras pesadas de disco son el equipo que se emplea comúnmente para el control de la salvia en gran parte del país en los sitios en donde esos arbustos han invadido las tierras de hierbas.

Aunque estos métodos son bastante eficaces, todos ellos son costosos y los rancheros están buscando constantemente formas más económicas de extirpar esas plantas nocivas y ahorrarse el agua que consumen. Se están usando cada vez más los incendios controlados seguidos de una resiembra para eliminar las plantas grandes de salvia. En California se ha des-

arrollado una nueva técnica para el control de muchas de las especies de chaparrales. La maleza se tritura primero en fajas por medio de un transportador pesado y luego se quema. Este método disminuye el peligro de incendiar grandes áreas y deja libres los plantíos para su recuperación natural o para la resiembra de hierbas.

Parece que los métodos más prometedores para el control de las plantas leñosas en las tierras de pradera son los que emplean herbicidas selectivos. Hasta antes de 1955 no se habían encontrado substancias químicas que destruyeran satisfactoriamente la maleza; pero el 2.4-D y el 2.4.5-T han dado muy buenos resultados con gran variedad de plantas. Esos resultados han sido erráticos y la razón de esas diferencias no se conoce completamente; pero parece que se deben a variaciones de temperatura, humedad y condiciones de la tierra, y a variaciones en las condiciones de crecimiento de las plantas al tiempo de la aplicación. Ordinariamente esos dos compuestos son más eficaces si se aplican en primavera que en la época en que las reservas de alimentos almacenados son más bajas, sin que las plantas crezcan más activamente. Se emplea comúnmente el aceite "Diesel" como transportador de las substancias químicas, aunque las investigaciones efectuadas indican que el agua da el mismo resultado.

Los costos de aplicación varían, dependiendo del tamaño del área que va a tratarse, tipo de maleza, aspereza del terreno, y si se emplean aeroplanos, distancia a las áreas de aterrizaje. El costo de la extirpación de la salvia en Wyoming ha sido en promedio de 5 a 7 dólares por acre por materiales y aplicación desde aeroplanos. La aspersión manual de tierras gravemente infestadas en Texas, 400 árboles por acre, incluyendo robles de poste, robles enanos y olmos alados, cuesta 27.23 dólares por acre. En ambos casos las operaciones compensaron su costo. En tierras de salvia, la producción de forrajes aumentó de 20 a 85% después del primer año, y de 100 a 200%, dos años después del tratamiento. En Texas, en donde hay mayor precipitación, los rendimientos de forrajes después de la extirpación de los robles de las tierras infestadas, fueron 5 veces mayores que en las áreas no tratadas.

Los surcos de contorno en las tierras de praderas, especialmente en aquellas que se encuentran en malas condiciones, se hacen con dos fines: como medida de conservación de agua para almacenar la lluvia donde cae y estimular el crecimiento del forraje, y como medio de proteger las tierras más bajas impidiendo el desbordamiento, y, por tanto, la sedimentación. El tamaño y espaciamiento de los surcos de contorno dependerá de cuál de esos fines sea de primordial importancia.

Los rancheros han encontrado que esos surcos son especialmente eficaces como medida de conservación de agua en praderas de hierbas cortas que se han desarrollado después de que se han desalojado las hierbas altas por el uso excesivo. En esas condiciones los surcos abren los terrones y permiten una recuperación más rápida de las hierbas medianas más altas y productivas. Los surcos pueden ser útiles también durante periodos de graves sequías, y en esas ocasiones conservan la poca humedad que caiga, dejando que la vegetación cercana a ellos recupere su vigor, produciendo semilla y acelerando así la recuperación general de la pradera.

Los surcos de contorno son más eficaces en tierras menos permeables, porque recogen el agua de las tormentas que ordinariamente se perdería en otras condiciones y la ahorran para el crecimiento de las plantas. Son de poca utilidad en tierras arenosas, en las que se obstruyen muy pronto y pierden su eficacia. Los surcos de contorno en declives que excedan de 20% son peligrosos, y a menos que se construyan en forma apropiada, es probable que el agua almacenada se desborde, causando una grave erosión.

Los pequeños surcos, de 4 a 6 pulgadas de sección y espaciados a una distancia no mayor de 5 pies, son más eficaces que los surcos mayores o espaciados a mayor distancia. Los pequeños surcos se cubren de hierba más rápidamente y retienen el agua cuando es más benéfica. Los grupos gran-

des se cubren de hierba más lentamente si es que lo hacen, retienen más agua de la que puede usarse en un sitio, y si están muy espaciados tienden a aumentar la aridez entre ellos.

La mejoría de las praderas debida a los surcos varía con las condiciones de la tierra, la cantidad y frecuencia de las lluvias y la clase y condición de la vegetación. En un periodo de 10 años, los surcos de contorno disminuyeron hasta en 90% el desbordamiento anual y aumentaron al mismo tiempo la producción de forraje en 20%, o más, en las praderas de Wyoming. Aun con tales beneficios comprobados, debe tenerse mucho cuidado antes de emprender la construcción de surcos, cerciorándose de que no puedan obtenerse los mismos resultados con métodos menos costosos. Miles de acres de tierras de pradera se han cubierto innecesariamente de surcos, pudiendo haberse obtenido mejores resultados con el sencillo método de dejar más vegetación en la tierra.

Las depresiones en las praderas constituyen una práctica eficaz para la conservación de agua en regiones áridas, especialmente cuando las condiciones de las praderas no son buenas y la humedad de las lluvias esporádicas se pierde casi completamente por evaporación o desbordamiento. El equipo empleado comúnmente consiste en una rastra de discos de 18 pulgadas de un solo sentido, con discos alternados de 20 pulgadas de diámetro montados 2 pulgadas fuera de centro. Este equipo produce depresiones interrumpidas poco profundas a una distancia aproximada de 16 pulgadas una de otra. La capacidad de depresiones en un acre tratado en esta forma es aproximadamente de 1,000 pies cúbicos y retendrán aproximadamente 0.3 de pulgada de lluvias. En regiones en donde las lluvias son normalmente insuficientes para permitir el establecimiento de los brotes, el tratamiento de las praderas con este método puede ser la única forma de proporcionar humedad suficiente para las plantas tiernas. Las depresiones pueden usarse también en relación con la resiembra, y bajo condiciones de sequía extrema pueden significar la diferencia entre el éxito y el fracaso en esas operaciones. Si la pradera se excava antes de la siembra, puede retener la humedad suficiente de las escasas lluvias que caigan para permitir que las plantas vivan durante el periodo crítico de primavera.

Las depresiones de las praderas tienen otras ventajas adicionales sobre los surcos de contorno. Las represiones no necesitan hacerse precisamente en las líneas de contorno, y como son pequeñas, no hay peligro de aumentar los riesgos de erosión. Más aún, la obtención de nueva vegetación es normalmente más rápida en la totalidad de las praderas, ya que las depresiones se distribuyen uniformemente, Sin embargo, las depresiones de pradera tienen la desventaja de necesitar equipo especial que puede no encontrarse fácilmente.

Para el ranchero, el valor principal, tanto de los surcos de contorno como de las depresiones de pradera, consiste en que hacen posible la máxima utilización de las lluvias intermitentes durante la estación de sequía, cuando la cobertura natural de hierbas es escasa y es absolutamente esencial la completa utilización de la humedad.

Un sistema de diques y otras estructuras diseñadas para desviar las aguas de las tormentas de los canales de las corrientes, dispersándolas en áreas agotadas pero potencialmente productivas, es otro método eficaz que los rancheros han hallado para ahorrar el agua en las tierras de pradera. Esos sistemas son más comunes en praderas semiáridas en donde la escasa vegetación causa un rápido desbordamiento. Se adaptan también a muchas otras áreas sujetas a desbordamientos de crecientes. Los dos requisitos básicos de un sistema eficaz de dispersión de aguas son un flujo disponible y una área adyacente de tierra adecuada en la que pueda dispersarse.

Como el sistema funciona automáticamente siempre que hay agua proveniente del desbordamiento de las tempestades, hay que tener mucho cuidado al seleccionar una área de desagüe apropiada para este tipo de sistemas de dispersión. Si la vertiente hidráulica que se encuentre arri-

ba del área de dispersión es demasiado grande, probablemente no podrá controlarse el flujo durante los periodos de tormenta, con el peligro de causar daños a las estructuras de desviación. Por otra parte, una vertiente pequeña puede no suministrar el agua suficiente o el flujo frecuente que justifiquen el costo de construcción del sistema.

Además del tamaño de la vertiente hidráulica hay otras características que son de importancia: Si el área de desagüe es corta y ancha, con fuertes declives, el periodo de desbordamiento pasará tan rápidamente que habrá poca oportunidad de utilizar el agua en forma eficaz. Deben evitarse las vertientes hidráulicas en las que el gradiente de la corriente misma es muy pronunciado, así como aquellas en las que normalmente la corriente arrastra grandes cantidades de lodo. El sedimento arrastrado al área de dispersión tenderá a disminuir la absorción de agua obstruyendo la superficie de la tierra. Si son excesivos, esos depósitos de sedimento impedirán el crecimiento adecuado de la vegetación en el área de esparcimiento. Los mejores desagües para los sistemas de dispersión de agua ordinariamente son bastante largos y angostos, con valles planos en los que puede depositarse cualquier sedimento antes de llegar al área de dispersión y aquellos en que tanto el volumen como la frecuencia del flujo son adecuados.

Debe darse igual atención a la selección del área de dispersión. Los declives deben ser leves, y mientras más plana sea la tierra será menor el número de diques que se necesiten, mayor el área que pueda regarse con cada estructura y menor el costo del sistema. Las tierras deben ser lo suficientemente profundas para absorber una gran cantidad de agua y lo suficientemente arenosas para almacenarla rápidamente.

Sin embargo, el diseño de los sistemas de dispersión puede variar para compensar ciertas diferencias de la tierra. En tierras muy arenosas, los diques deben tener una pendiente suficientemente pronunciada para distribuir el agua rápidamente y evitar que se absorba una cantidad excesiva en una área limitada. Por otra parte, las tierras pesadas arcillosas tienen una proporción menor de infiltración, y en esas tierras el gradiente de los diques debe ser menor, a fin de retener el agua por el tiempo suficiente para obtener la saturación. Sin embargo, deben evitarse las áreas de dispersión en las que las tierras están fuertemente impregnadas de álcali. Aun con agua adicional, ordinariamente esas tierras no producen forrajes adicionales suficientes para justificar los costos de construcción. Además, los diques construidos en tierras alcalinas tienden a "derretirse" con cada lluvia y los costos de mantenimiento son excesivos.

El tipo más común de sistemas de dispersión de agua consiste de una represa colocada en la corriente de agua con zanjas de gradiente o terrazas que llevan el agua hacia declives más suaves de donde se libera por medio de un sistema de diques. Se dejan aberturas en los diques a fin de liberar una pequeña cantidad de agua en cada vez y aumentar la eficacia del sistema. Como el agua se distribuye automáticamente siempre que hay un desbordamiento causado por las tormentas, el sistema debe diseñarse en tal forma que se libere el agua uniformemente sobre la tierra y que no se concentre en los sitios bajos para causar erosión. En las áreas completamente desnudas es difícil controlar una gran cantidad de agua sin que se produzcan hondonadas. Por lo tanto, las estructuras deben diseñarse para desviar sólo aquella cantidad de agua que pueda controlarse.

Ordinariamente la construcción de cualquier sistema práctico de dispersión de agua es bastante costosa. Sin embargo, si el sistema se localiza debidamente y está bien diseñado, es probable que los beneficios obtenidos en aumento de forrajes y producción de ganado sean considerables. Ordinariamente los beneficios son más que suficientes para recuperar los costos en un tiempo razonable. Un ranchero de Colorado calcula que como resultado de una serie de sistemas de dispersión de agua, su rancho de 30,000 acres está produciendo actualmente de 30 a 50% más de forrajes que lo que producía hace 25 años, y ese cálculo puede

ser conservador. No es raro que la producción de forrajes aumente de 5 a 10 veces en 5 años por medio de la dispersión de aguas.

Los sistemas de dispersión de agua mejoran también la calidad de los forrajes y aumentan las ganancias obtenidas por el ganado, ya que alargan el periodo en que los forrajes se conservan verdes y suculentos. Puede esperarse que ese periodo sea una o varias semanas más prolongado en una área de dispersión que en las praderas más secas que la rodean. Además de aumentar los forrajes utilizando el agua que se desperdiciaría de otra manera, los sistemas de dispersión de agua llenan también el importante objeto de disminuir los peligros de las inundaciones y de las pérdidas debidas a la erosión.

Debido a los excesos de pastado, de cultivo o a ambos, muchos miles de acres de tierras de pradera en el Oeste no pueden sostener buenos plantíos de plantas nativas de forraje.

Las mejoras en la producción de forrajes por el solo medio del manejo del ganado pueden tomar demasiado tiempo. En los sitios en que el clima y las condiciones de la tierra son apropiados, la resiembra con hierbas adaptadas puede mejorar las praderas deterioradas en forma rápida y económica. Las mejorías en la producción de forrajes obtenidas mediante la resiembra de las praderas, a menudo igualan y a veces sobrepasan las producidas por las plantas nativas originales de forraje.

Las mejorías en la producción de forrajes resultan en gran parte de una utilización más eficiente del agua de las lluvias que cae en la tierra.

Las tierras de pradera deterioradas y las tierras abandonadas después del cultivo, sólo tienen ordinariamente una vegetación escasa. Esa vegetación incluye a menudo hierbas anuales y pastos, unas cuantas plantas de hierbas perennes esparcidas y maleza de crecimiento bajo. Esas tierras rara vez producen más de 50 libras de forrajes aceptables por acre, y la cobertura es demasiado escasa para asegurar que la máxima cantidad de lluvia penetre en la tierra. Las aguas de desbordamiento han desgastado las tierras superficiales y las han marcado con zanjas y hondonadas. Mientras que el agua se utilizaba antes para la producción de forrajes, ahora se escapa corriente abajo, a menudo en cantidades perjudiciales.

Las resiembras adecuadas no son operación sencilla y cuestan de 5 a 10 dólares por acre, dependiendo de las condiciones de tierra que prevalezcan y de las especies de semilla seleccionadas para siembra. Se requiere la cuidadosa preparación y siembra de una cama de semillas, y generalmente el plantío no debe pastarse hasta que hayan transcurrido dos estaciones de crecimiento. Existe también el riesgo siempre presente de acelerar la erosión en las áreas resembradas durante el periodo de establecimiento. Una vez que se establece un plantío, penetra en la tierra mayor cantidad de agua de lluvias y ocurre muy poca o ninguna erosión.

Las mediciones de la producción de forrajes en praderas resembradas separadamente con hierba triguera, hierba de bromo liso, hierba triguera intermedia y centeno ruso silvestre, muestran rendimientos que varían de 1,000 a 3,000 libras por acre. Esos elevados rendimientos se deben en parte a la utilización más eficiente del agua de las lluvias, muy poca cantidad de la cual escapa de la superficie de la tierra, y en parte a los sistemas de raíces profundos y fibrosos de las hierbas resembradas. Los sistemas de raíces pueden absorber humedad a profundidades de 6 pies o más, mientras que en los 3 pies superiores la columna de tierra está tan llena de raíces que toda la humedad disponible se emplea en el crecimiento de las plantas. Las hierbas resembradas son tan sensibles a la disponibilidad de humedad que su rendimiento anual de forraje variará en proporción a la precipitación anual. Por ejemplo, la producción de forraje de hierba triguera ha variado de 2,100 libras por acre cuando la precipitación anual fue de 15.5 pulgadas, a 600 libras por acre cuando la precipitación fue sólo de 9.7 pulgadas.

Las observaciones de parcelas de campo efectuadas en el centro de Utah, en relación con la cantidad de agua consumi-

da y la cantidad de forraje producida por plantíos limpios de hierba de bromo liso, timotea, hierba azul de Kentucky y una mezcla de diente de león y salvia dulce, demuestran la eficiencia de la utilización del agua por las hierbas resembradas.

La hierba de bromo liso consumió mayor cantidad de agua, pero produjo también mayor cantidad de forraje y utilizó más eficientemente el agua consumida. Los rendimientos de forraje llegaron a 350 libras por acre por cada pulgada de agua consumida. Comparativamente, la timotea consumió 0.79 de pulgada menos de agua, pero produjo sólo 13 libras de forraje por acre por cada pulgada de agua. La hierba azul de Kentucky consumió aproximadamente una pulgada menos de agua que la timotea, pero fue más eficiente, produciendo 210 libras de forraje por acre por pulgada de agua. Las parcelas sembradas con diente de león y salvia dulce consumieron aproximadamente 1.6 pulgadas menos de agua que las sembradas con timotea, y fueron las menos eficientes en la producción de forraje, rindiendo sólo 80 libras de forraje por pulgada de agua.

Cuando las condiciones climatológicas y de tierra lo permiten, la resiembra de tierras de pradera deterioradas y de tierras de cultivo abandonadas, es un medio eficaz de aumentar la eficiencia en la utilización del agua. Una vez que esas tierras se resiembran con hierbas adaptadas, penetra en la tierra mayor cantidad de la precipitación anual y queda disponible para la producción de forrajes. Puede ocurrir un aumento de 20 veces los rendimientos de forraje por medio de las operaciones de resiembra en áreas adecuadas que se hayan agotado. El aumento se debe a la mayor cantidad de lluvia que penetra a la tierra y a la capacidad inherente de las hierbas resembradas para utilizar el agua más eficientemente.

F. G. RENNER *ha estado encargado desde 1936 de las investigaciones técnicas sobre praderas en el Servicio de Conservación de Tierras, habiéndose graduado en la Universidad de Washington y en el Colegio del Estado de Oregon.*

L. D. LOVE *es investigador forestal en la Estación Experimental de Bosques y Praderas de las montañas Rocallosas, habiéndose graduado en el Colegio Agrícola y de Ciencias Mecánicas de Colorado.*

Los freatofitos, un serio problema en el Oeste

Herbert C. Fletcher y Harold B. Elmendorf

LOS FREATOFITOS OCUPAN aproximadamente 15 millones de acres de tierra en los Estados del Oeste. Son plantas que envían sus raíces hacia abajo hasta la meseta de agua o el borde capilar inmediatamente arriba de ella, que proporciona un abundante suministro de agua. El término, derivado de dos palabras griegas, significa "planta pozo".

Generalmente la vegetación semidesértica tiene que adaptarse a una extrema economía de agua, y crece principalmente con la humedad acumulada en la tierra por las nieves de invierno y las raras lluvias de verano. Durante los periodos de sequía, las plantas semidesérticas quedan esencialmente en reposo, y sólo así pueden sobrevivir.

En contraste, los freatofitos son plantas que buscan el agua y que crecen principalmente a lo largo de las corrientes, en donde sus raíces penetran al borde capilar que se encuentra sobre la meseta de agua y del cual pueden obtener un abundante suministro de ella. Estas exuberantes plantas verdes presentan un agudo contraste con la vegetación gris semidesértica que carece de esa fuente suplementaria de agua.

Los freatofitos forman un grupo bien definido de plantas, pero no pertenecen a ninguna familia específica y su característica común consiste en su excesivo consumo de grandes cantidades de agua.

Los investigadores que han estudiado el problema en todo el Oeste reconocen que una gran parte del agua consumida por los freatofitos podría utilizarse ventajosamente si se reemplazaran con plantas de cosecha, hierbas u otra vegetación útil.

Hacen una distinción entre los freatofitos que son benéficos para el hombre y aquellos que consumen agua sin que produzcan ningún beneficio. Se estima mucho la alfalfa, que es una planta que emplea más agua que cualquiera otra cosecha. Los árboles utilizan grandes cantidades de agua; pero algunos son indispensables como sombra para el ganado y para las habitaciones, aun en sitios en que escasea el agua. Los densos plantíos de sauces, tamariscos o álamos que crecen a lo largo de las corrientes de agua, son ejemplo de los tipos de vegetación que utilizan grandes cantidades de agua y rinden pocos beneficios. Consideraremos aquí sólo los freatofitos perjudiciales.

Muchas personas creen que el elevado consumo de los escasos suministros de agua por los freatofitos es uno de los problemas más serios de las zonas de regadío del Oeste. A lo largo del Valle del Río Grande, en New Mexico, por ejemplo, el elevado consumo de agua que hacen los tamariscos y otra vegetación que busca el agua es una de las razones que explican las dificultades habidas en New Mexico, para entregar agua a la Presa de Elephant Butte, de acuerdo con las disposiciones del Convenio del Río Grande.

Como regla, la transpiración del agua por las plantas es mayor que la evaporación de la tierra desnuda y ocurre a profundidades mucho mayores. Las raíces de muchas plantas hacen subir el agua a mayor altura de lo que puede subir por la acción capilar de la tierra.

Unas cuantas especies dominantes son responsables de gran parte del excesivo consumo de agua: La hierba salada, *Distichlis spicata;* el pie de ganso, *Sarcobatus vermiculatus;* el tamarisco, *Tamarix gallica;* el álamo, especie *Populus;* el cardo aromático, *Baccharis glutinosa;* los sauces, especie *Salix,* y el mezquite, *Propis juliflora,* ocurren todos ellos en el fondo de los valles y a lo largo de las corrientes.

El nivel de agua del suelo en algunas localidades desciende durante el día y se eleva por la noche con una regularidad de reloj, debido a los elevados requerimientos de agua de las plantas. G. E. P. Smith, de la Universidad de Arizona, determinó en 1916 que las fluctuaciones diarias en un pozo del Valle de San Pedro se debían a un bosque de mezquite, y en otro pozo, a un plantío de álamos.

Walter N. White hizo mediciones de pozos en el Desierto de Escalante, en Utah, en 1927, y observó que la meseta de agua fluctuaba diariamente durante la estación de crecimiento en dondequiera que ocurrían concentraciones de freatofitos. El agua comenzaba a bajar en los pozos entre las 9 y las 11 a. m., y llegaba al punto mínimo entre las 6 y las 7 p. m. Después de la puesta del sol el agua comenzaba a subir, continuando hasta las 9 a. m. de la mañana siguiente. El monto de las fluctuaciones diarias variaba con la etapa, vigor y densidad de crecimiento de las plantas. Cuando cesaba el crecimiento de ellas por las fuertes heladas, las fluctuaciones se suspendían. La descarga estacional de agua del suelo por las plantas que rodeaban los pozos era de 27.2 pulgadas de agua en la alfalfa, 22.0 pulgadas en la hierba salada, 3.1 pulgadas en la hierba de escamas y 2.6 pulgadas en el pie de ganso.

El informe de la Investigación Conjunta del Río Grande en 1936, mencionó los tamariscos como importantes consumidores de agua. De los estudios hechos por el Departamento de Agricultura en 1940, la Junta de Planeación de Recursos Naturales concluyó que el promedio de consumo de agua en el delta del río Pecos, arriba de la Presa McMillan ocupada por un denso crecimiento de tamariscos, era aproximadamente de 5.0 pies-acre anualmente, derivados del agua del suelo, agua superficial y precipitación.

En 1943 y 1944 la Inspección Geológica estudió el consumo de agua de los tamariscos, álamos, sauces, cardos aromáticos y mezquites en el Valle de Safford en la cuenca del río Gila. Los resultados de esas estudios se incluyeron en la *Publicación núm. 1103 de Suministros de Agua,* publicada en 1950.

El informe especificaba que el consumo de agua en los 12 meses que terminaron el 30 de septiembre de 1944, de los 9,393 acres en una extensión de 46 millas a lo largo del canal del río Gila, era de 28,000 pies-acre, o un promedio aproximado de

3.0 pies-acre por acre. Aproximadamente 23,000 pies-acre provenían del agua del suelo, y aproximadamente 5,000 de la precipitación. La densidad aproximada de la vegetación era de 52%. Si esa densidad se hubiera aproximado al 100%, lo que ocurre en algunas infestaciones, el consumo anual habría sido mucho mayor.

A. A. Young y Harry F. Blaney, en un sumario de los resultados de los estudios efectuados hasta 1942, señalaron la amplia gama de la utilización anual de agua por las diferentes especies de plantas. Una parte de esas diferencias se atribuyó a las especies, otra a la profundidad, otra al clima y otra a las localidades geográficas.

Por ejemplo, una pradera de hierba salada en el sur de California perdió 13 pulgadas de agua cuando la meseta de agua se encontraba a 4 pies bajo la superficie de la tierra, y 43 pulgadas cuando la meseta se encontraba sólo a un pie bajo la superficie. Otra área perdió de 24 a 49 pulgadas de agua a medida que la meseta de agua se elevó de 4 pies a 18 pulgadas bajo la superficie del suelo. La variación máxima de pérdida de agua fue de 10 a 49 pulgadas. Los tules y las colas de gato perdieron anualmente 90 pulgadas de agua cuando la meseta de agua estaba en la superficie en el centro de California, y 121 pulgadas en el Valle de La Mesilla, en New Mexico. Los sauces consumieron entre 30 y 53 pulgadas anuales, y los juncos y juncias consumieron aproximadamente 77 pulgadas.

Como regla general, mientras más alta esté la meseta de agua, mayor es la proporción de consumo. La distancia a la meseta de agua controla la ocurrencia y crecimiento de la mayoría de las especies. Generalmente la hierba salada crece mejor cuando la meseta de agua no excede de 6 a 8 pies, y sobrevivirá si se encuentra hasta a 12 pies. El pie de ganso crece mejor en sitios donde la meseta de agua no excede de 15 pies. Se sabe que el mezquite envía sus raíces a 40, 50 ó 100 pies en busca de agua. Los tamariscos, sauces y álamos prefieren las localidades donde la profundidad al borde capilar es aproximadamente de 10 pies, pero penetrarán hasta 20 pies.

La profundidad del borde capilar tiene mucho que ver con la supervivencia de las plantas, y se afecta por la contextura y estructura del perfil de la tierra sobre la meseta de agua. Las tierras de arcilla fina tienen el borde capilar a mayor profundidad que las tierras gruesas y arenosas, y, en consecuencia, en áreas de tierras de contextura fina, el borde capilar puede quedar al alcance de las plantas que tienen raíces superficiales aun cuando la meseta de agua se encuentre muchos pies hacia abajo. Esto puede también explicar por qué la hierba salada, una de las plantas que tienen raíces más superficiales, crece en donde la meseta de agua se encuentra de 10 a 12 pies pies bajo la superficie.

Las condiciones climatológicas controlan muy de cerca la ocurrencia y crecimiento de algunas especies, pero no de todas. Los tamariscos, mezquites y cardos aromáticos crecen mejor en climas moderados al sur del paralelo 37 y a alturas menores de 5,000 pies. Los sauces, álamos y hierbas saladas, cubren gran parte de los Estados del Oeste, desde Canadá hasta México, en donde quiera que haya condiciones favorables de agua del suelo. El tamarisco es muy sensible al clima y se encuentra tan al Norte como en Nevada, pero allí rara vez se extiende en grandes superficies. En Arizona y New Mexico presenta un crecimiento vigoroso y selvático en muchas de las corrientes principales. El pie de ganso prefiere las áridas desérticas frías que se encuentran generalmente al norte del paralelo 37, y por consiguiente, el pie de ganso y el tamarisco rara vez ocurren juntos.

Otros factores que limitan el crecimiento de los freatofitos son la longitud de la estación de crecimento, horas de luz del día, temperatura, lluvias y humedad. El consumo de los suministros de agua es mayor durante las estaciones de crecimiento prolongadas y calientes con escasa precipitación y baja humedad.

La calidad del agua del suelo afecta también el crecimiento y la proporción de utilización del agua. Generalmente, mientras es mayor el contenido de minerales, es menos vigoroso el crecimiento. Algunas plantas, tales como los sauces,

sólo crecen cuando el contenido de minerales del agua es muy bajo.

Otras, tales como el tamarisco, pie de ganso y hierba salada, tienen gran tolerancia a las aguas mineralizadas. En áreas donde es bajo el contenido de minerales del agua del suelo, generalmente también es baja la concentración de sales de la superficie de la tierra. En sitios donde el contenido de minerales del suelo es muy elevado, la concentración de sales en la superficie de la tierra puede ser tan tóxica que no pueden sobrevivir ni siquiera las plantas más resistentes a los álcalis. Por lo tanto, las condiciones de mineralización afectan grandemente la densidad y vigor de la vegetación, así como su capacidad para consumir grandes cantidades de agua.

Pocos estudios han mostado en forma directa cuánta agua podría ahorrarse a causa de las pérdidas de evapotranspiración mediante la remoción y reemplazo de los freatofitos, y la cantidad real de agua que pueda ahorrarse para emplearse en otros fines removiendo la vegetación freatofítica no es más que una conjetura. En muchas áreas individuales se han hecho cálculos del agua consumida por los freatofitos y puede no ser práctico ni deseable recuperar toda esa agua, porque la vegetación que la emplea da cierta protección contra la erosión. Se han hecho muy pocas investigaciones para determinar la utilización del agua por la vegetación a lo largo de las corrientes montañosas. La información sobre este punto es fragmentaria y no considera las posibilidades de aumentar la cantidad de agua mediante la extirpación de los freatofitos.

Se han iniciado los trabajos de este tipo en las Vertientes Experimentales de Sierra Ancha, aproximadamente 40 millas al norte de Globe, Arizona, para determinar los efectos de los diversos tipos de cortas de madera en el flujo de las corrientes.

Otros dos estudios han proporcionado mediciones de las pérdidas por evapotranspiración a lo largo de las corrientes montañosas. Los estudios efectuados por A. R. Croft en las Montañas Wastch, al norte de Utah, mostraron que las pérdidas por evapotranspiración en el arroyo Farmington llegaban a una tercera parte del flujo total de la corriente de agosto a octubre. En el cañón Coldwater, en California, Young y Blaney midieron las pérdidas de agua a lo largo de 8,000 pies del fondo del cañón, y encontraron que en los 4 meses de julio a octubre de 1932, la parte superior del canal perdió 38.5 pulgadas de agua en el área de freatofitos, y que el extremo inferior del canal perdió 46.6 pulgadas.

Esos estudios indican las posibilidades económicas si se eliminan algunas de esas pérdidas entubando el agua en algunos de los canales de mayor consumo, o manteniendo al mínimo la vegetación a lo largo de la corriente.

T. W. Robinson, de la Inspección Geológica, calculó en 1953 las superficies cubiertas de freatofitos y su consumo anual de agua:

Estado	*Area (Acres)*	*Consumo anual (Pies-acre)*
Arizona	405,000	1.280,000
California	317,000	1.150,000
Colorado [1]	737,000	1.056,000
Idaho	500,000	1.000,000
Montana	1.600,000	3.200,000
Nebraska [1]	515,000	709,000
Nevada	2.801,000	1.500,000
New Mexico	300,000	900,000
North Dakota	1.035,000	1.660,000
Oregon [1]	40,800	21,200
South Dakota	850,000	1.240,000
Texas [1]	262,000	436,500
Utah	1.200,000	1.500,000
Wyoming	527,000	1.100,000
Total (aproximado) [2]	11.090,000	16.750,000

[1] Datos parciales de los informes publicados en las áreas dentro del Estado.
[2] Datos parciales.

AUNQUE PARECE FACTIBLE RECUPERAR, por lo menos en parte, el agua consumida por los freatofitos, los métodos para lograrlo no han ido más allá de la etapa experimental.

Para recuperar el agua debe removerse la vegetación o debe privársele del suministro de agua. La remoción de la vegetación por medios mecánicos, incendios, aspersiones químicas u otros métodos, generalmente sólo es temporal si no se cambian las demás condiciones. Sólo puede obtenerse un control permanente cuan-

do se remueve el suministro de agua de las plantas bajando la meseta de agua, entubando el agua a través del área o interrumpiendo los suministros desde su origen.

Dos medidas de control que se aplican con frecuencia son los incendios y el control mecánico; pero sus efectos sólo son temporales, porque la mayoría de las especies vuelven a retoñar vigorosamente. En el Valle de Safford, en Arizona, se han hecho intentos para controlar los tamariscos, quemándolos y desarraigando las plantas con equipo pesado. Esas operaciones tendieron a estimular una mayor actividad en los desechos de raíces, y para fines de la siguiente estación de crecimiento los nuevos brotes tenían de 5 a 6 pies de altura.

En New Mexico se han hecho extensas pruebas de campo para controlar los freatofitos, especialmente los tamariscos y sauces, por medio de herbicidas químicos. En 100 acres del delta de la Presa McMillan, los tamariscos se rociaron dos veces desde aeroplanos, una vez en septiembre de 1948, y de nuevo en junio de 1949, con una emulsión de agua y aceite de la sal de sodio del 2.4-D, a razón de una libra de equivalente ácido por acre el primer año, y de 2 libras el segundo. La substancia química, aplicada a razón de 5 galones de rocío por acre, consistió de 4 galones de agua y un galón de aceite "Diesel". Para el otoño de 1950, el nuevo crecimiento varió desde 1% en unas áreas hasta 100% en otras. En general, la destrucción total fue aproximadamente de 85%. En otra área rociada en el otoño de 1948, la aplicación de una libra de 2.4-D (equivalente ácido) por acre, sólo causó una destrucción de 30 a 40%, y al siguiente año el nuevo crecimiento fue muy abundante.

La represión de los sauces cortándolos en otoño y rociando el nuevo crecimiento en la primavera siguiente, ha dado buenos resultados a lo largo de los canales del Río Grande, arriba de El Paso, Texas. A mediados de abril, después de que se había iniciado el nuevo crecimiento, se roció el área a lo largo de los bordes con una mezcla de sales de sodio del 2.4-D en solución que contenía 1.5 libras de equivalente ácido, una pinta de Tritón X-100, 5 galones de aceite "Diesel" y 95 galones de agua, y que se aplicó a razón de 100 galones por acre.

Se notaron los resultados 15 días después del tratamiento al destruirse el 90% del crecimiento. El escaso crecimiento nuevo que ocurrió se removió con facilidad mediante repetidas aplicaciones de la misma mezcla durante el programa ordinario de mantenimiento.

Las investigaciones efectuadas por H. Fred Arle, del Servicio de Investigaciones Agrícolas, en el canal del río Gila, cerca de Phoenix, Arizona, indicaron que pueden necesitarse de 6 a 7 aplicaciones de aspersiones químicas para destruir los tamariscos. Los tratamientos de otoño y primavera se iniciaron en 1951 empleando una elevada proporción del amino 2.4-D, y sólo se destruyó el 63% de las plantas con un tratamiento de 6 aspersiones. Las parcelas que se iniciaron un año después recibieron 5 tratamientos que destruyeron el 52% de las plantas. Las que se iniciaron en 1952, con sólo 3 tratamientos mostraron una destrucción de 3% para 1954. Otras parcelas rociadas en 1951 con ésteres de 2.4-D y 2.4,5-T, mostraron una destrucción de 100% después de 6 tratamientos. En las parcelas que se iniciaron en la primavera de 1952, 5 tratamientos destruyeron el 60% de las plantas. Las parcelas iniciadas en la primavera de 1953 sólo mostraron una destrucción del 16% de las plantas, y en ambos casos se usaron dos proporciones de aplicación, 1.25 y 2.5 libras de equivalente ácido por acre.

Las cifras indican la superioridad de la forma de ésteres de 2.4-D más 2.4,5-T sobre la fórmula de aminos de 2.4-D. Las mayores proporciones de aplicación produjeron una destrucción mayor con la misma cantidad de substancias químicas. Esos estudios indicaron también que los tamariscos se vuelven más resistentes a los herbicidas con los tratamientos continuados a medida que se alarga el intervalo de tiempo entre el primer tratamiento.

Las nuevas fórmulas de 2.4-D y del 2.4,5-T, tales como el butoxi-etanol y los ésteres del éter butílico de propileno gli-

col, son más volátiles que los aminos y sales de sodio. Los primeros resultados experimentales en las plantas leñosas indican que los altos ésteres igualan o sobrepasan a las formas de aminos, sodio y bajos ésteres en eficacia, y a veces son menos peligrosos para emplearse en sitios donde se cultivan cosechas sensibles.

Hay que tener cuidado al aplicar aspersiones de substancias químicas en las cercanías de cosechas agrícolas, muchas de las cuales, especialmente el algodón, son altamente sensibles a ellas.

Hay dos casos en que los tratamientos con aspersiones químicas parecen ser eficaces para la represión de los freatofitos. Uno de ellos es en las planicies de inundación alrededor de las entradas de las presas, y en otros lugares en donde el fin principal consiste en disminuir la pérdida de agua destruyendo la vegetación. El otro es en las vías de inundación y canales de corrientes que se han limpiado mecánicamente y que deben mantenerse libres de freatofitos que puedan reproducirse, ya sea de las raíces viejas o de los brotes.

Sin embargo, se necesita mayor información sobre las proporciones y eficacia relativa de las diferentes fórmulas de 2.4-D, 2.4,5-T y otras substancias químicas reguladoras del crecimiento antes de que puedan hacerse recomendaciones precisas para su empleo.

Antes de que podamos disminuir el consumo de agua substituyendo cierto tipo de vegetación con otro, necesitamos saber más sobre el consumo de agua y crecimiento de los freatofitos y los requerimientos de las plantas que los substituyan. En localidades de tierras sumamente alcalinas, fracasarían los intentos de substituir una planta que tuviera escasa tolerancia a los álcalis. Las cosechas de forrajes, especialmente la alfalfa y las hierbas, parecen mejor adaptadas para este fin. En el Valle de Escalante, en Utah, se tuvo éxito al substituir con alfalfa una combinación de pie de ganso, hierba de conejo y hierba salada. No existe ningún sencillo método o solución al problema de la represión de los freatofitos, y en cada área se necesitan estudios intensos para conocer sus requerimientos especiales.

Muchas personas se han interesado en la posibilidad de que los freatofitos que existen en los grandes valles puedan impedir la acumulación de sedimentos en los depósitos de almacenamiento, y han quedado impresionadas por el crecimiento de los grandes matorrales de tamariscos, sauces, álamos y otros freatofitos en los deltas formados por los sedimentos que se depositan en la entrada de los grandes depósitos. No puede negarse la relación que existe entre los freatofitos y los sedimentos.

Sin embargo, es dudoso que el beneficio de retener los sedimentos fuera de los depósitos principales compense el consumo de agua que hacen. Los sedimentos más pesados que transportan las corrientes se depositan en donde éstas se encuentran con los estanques de agua almacenada a la entrada de los depósitos. En muchos sitios los deltas han precedido a la invasión de freatofitos, y en otros lugares los freatofitos han sido responsables de esos depósitos.

Los freatofitos y la demás vegetación disminuyen la velocidad del agua que fluye a través de ellos y, por lo tanto, cuelan los sedimentos más pesados. Algunas autoridades en la materia han sugerido que puede ser conveniente la siembra de vegetación útil sobre las entradas de los depósitos para ayudar a retener los sedimentos antes de que lleguen a la cuenca principal de almacenamiento, prolongando así la vida de los depósitos. Se han sugerido para este objeto varios tipos de arbustos de bajo crecimiento que se controlan fácilmente y que proporcionarían alimento para la fauna, encontrándose entre ellos el rosal silvestre, *Rosa multiflora;* el cerezo de arena, *Prunus Besseyii;* el cerezo celta, *Celtis pallida,* y el olivo ruso, *Elaeagnus angustifolia.* La capacidad de las diversas hierbas para soportar la sedimentación, sobreviviendo y restableciendo una cobertura resistente a la erosión, las hace de gran valor para reemplazar las plantas que consumen grandes cantidades de agua.

Las hierbas rizomatosas fuertes proba-

blemente están mejor adaptadas para soportar mayores depósitos de sedimento, porque dentro de ciertos límites son capaces de volver a crecer hasta la superficie por medio de las rizomas.

Los plantíos bien establecidos de hierbas grandes de manojo, tales como el zacatón grande, *Sporobolus giganteus,* y el zacatón salad, *Sporobolus airoides,* pueden sobrevivir a pesar de los abundantes depósitos de sedimento. Varias otras hierbas pueden soportar también los depósitos de lodo. Una es la panoja azul *Panicum antidotale,* que parece adaptarse a los climas más calientes, y otras son el cálamo, *Calamagrostis epigeios,* y las especies de centeno silvestre de China y Australia. Las hierbas como las anteriores, establecidas en un programa de reemplazos, podrían utilizarse para heno o pasturas. Sin embargo, debe recordarse que las medidas para controlar las grandes cargas de sedimento en nuestras corrientes principales sólo son temporales, mientras que puedan rehabilitarse nuestras vertientes hidráulicas con una cobertura práctica de vegetación que pueda mantenerse en buenas condiciones.

Se han hecho diversas afirmaciones sobre el valor que puedan tener para la fauna y el ganado los freatofitos que crecen en los lechos de los ríos. Los freatofitos más perjudiciales se propagan rápidamente y cubren grandes áreas con una densa maleza. Sin embargo, ordinariamente esa maleza proporciona muy poco alimento para la fauna, y las especies más deseables que se controlan fácilmente suministrarán más alimento, protección y otros beneficios, tanto para la fauna como para el ganado, que los que ofrecen los tamariscos, álamos y algunas clases de sauces, y proporcionarán esos beneficios con un costo de agua mucho menor.

Se han hecho algunos estudios sobre los ahorros potenciales de agua mediante la extirpación de los freatofitos. Se calculó que el consumo de agua de los freatofitos perjudiciales en Nevada fue de 1.500,000 pies-acre al año. Se calculó también que podría ahorrarse aproximadamente el 25% de esa cantidad, o sea 375,000 pies-acre, cantidad suficiente para regar 133 mil acres de alfalfa. Otro ejemplo es la proyectada canalización del río Gila, después de Phoenix, Arizona. El Cuerpo de Ingenieros y la Inspección Geológica calcula que si se mantiene libre de freatofitos una vía de inundación de 2,000 pies de ancho y 77 millas de largo, se ahorrará un promedio de 16,000 pies-acre de agua anualmente. Se hizo otro cálculo por el Comité Consultor de Ingeniería de la Comisión del Convenio del río Pecos en 1948: Si pudieran extirparse, controlarse o rodearse por medio de canales los 15,000 acres de tamariscos que crecen en el delta que se encuentra arriba de la Presa McMillan, podrían añadirse anualmente a las aguas del Pecos 39,000 pies-acre de agua.

Los trabajos de la Oficina de Recuperación para canalizar el Río Grande aproximadamente en 32 millas arriba de la Presa de Elephant Butte, demuestran que podrían ahorrarse grandes cantidades de agua para usarse corriente abajo. Esta sección del Valle del Río Grande se encontraba seriamente infestada con álamos, sauces y tamariscos, cuyo consumo anual de agua se calculaba en 150,000 pies-acre. Anteriormente casi no había canalizaciones en grandes distancias, y gran parte de la descarga del río se perdía sin llegar a la presa. Un nuevo canal de aguas bajas hizo descender la meseta de agua en un promedio de 8 a 10 pies. Dos años después de la terminación del primer contrato, y antes de que se terminara todo el proyecto, el agua fluía a la Presa de Elephant Butte durante el invierno y en otras épocas del año, mientras que anteriormente el flujo normal del río no llegaba a esa región. Después de que se construyó el canal, aproximadamente 100,000 pies-acre de agua llegan a la presa. El aumento en la descarga del río consistía de flujo que probablemente se habría desperdiciado en condiciones anteriores.

Las tierras del Oeste cubiertas de freatofitos representan otra meta en el manejo más eficaz de la tierra. La razón principal del interés público en los freatofitos consiste en las enormes cantidades de agua que consumen y en los posibles ahorros de agua que pueden obtenerse con

su extirpación. Cuando queden controlados habrá agua adicional disponible que aumentará los actuales suministros. Los estudios efectuados indican que los beneficios económicos derivados de la substitución de los freatofitos con cosechas de riego y hierbas productivas, serían más que suficientes para compensar los costos. Aunque no conocemos todavía los métodos más económicos para aprovechar el agua consumida por los freatofitos, sí estamos seguros de que la agricultura de riego del Oeste se beneficiará con la conservación de ella para la producción de cosechas.

HERBERT C. FLETCHER *es investigador de la Estación Experimental de Bosques y Praderas de las Montañas Rocallosas en Tempe, Arizona, y desde 1933 ha estado encargado de las investigaciones sobre conservación de tierras y aguas en el Sudoeste.*

HAROLD B. ELMENDORF *es miembro de la Unidad de Ingeniería y Planeación de Vertientes Hidráulicas del Servicio de Conservación de Tierras en Albuquerque, New Mexico.*

Prácticas de riego para las cosechas de pastos y forrajes

John R. Carreker y James H. Lillard

EL COSTO DEL RIEGO de las cosechas de pasturas y forrajes puede ser relativamente alto, porque tienen prolongadas estaciones de crecimiento y, por lo tanto, puede necesitar aplicaciones de agua más frecuentes que la mayoría de las demás cosechas. Las pasturas y forrajes tienen también un valor relativamente bajo, y el agricultor tiene que obtener mayores rendimientos para que esos riegos sean productivos.

Por lo tanto, es importante que se mantengan las prácticas de manejo de otras cosechas. Los riegos deben suplementar, pero no reemplazar, a otras buenas prácticas de labranza.

Pueden emplearse especies y mezclas con elevados rendimientos y altamente nutritivas para el incremento de los probables rendimientos obtenidos con los riegos. Los estudios que tratan del cultivo, preparación y almacenamiento de las cosechas de capa vegetal de tierra, han abierto el camino para su uso más eficiente en varios tipos de granjas.

Las pasturas y forrajes producidos con abundancia de humedad, generalmente tienen valores alimenticios un poco más elevados, y los animales gustan más de ellos.

EL AGUA SE APLICA a las cosechas de pasturas y forrajes por inundación, aspersión o riego del subsuelo.

El riego por inundación puede hacerse en varias formas, mediante retenes de bordos, retenes de contorno y surcos. Generalmente, la topografía y las condiciones de la tierra influyen en la elección del sistema. Las inundaciones se usan principalmente en los estados del Oeste y del Sudoeste.

La tierra debe trabajarse completamente antes de la siembra y nivelarse uniformemente para permitir una aplicación continua del agua sin causar sitios altos que queden secos o de sitios demasiado bajos que puedan saturarse. La nivelación adecuada disminuye el trabajo de aplicación del agua a la tierra y proporciona mejores riegos.

El agua se mueve más lentamente sobre la capa de tierra vegetal que sobre la tierra de otras cosechas y penetra también más rápidamente en ella. Por lo tanto, las cosechas de capa vegetal requieren mayores cantidades de agua que otras cosechas cuando se emplean métodos superficiales.

Ordinariamente se recomienda el riego de bordos en declives uniformes de 3% o menos. Las inundaciones de zanjas de campo se emplean cuando la topografía es desigual y hay declives pronunciados.

El riego por aspersión da buenos resultados en tierras demasiado ásperas o demasiado superficiales para nivelarse, en tierras muy porosas y en sitios donde el agua es muy escasa para obtener una inundación eficaz.

Con un buen diseño de ingeniería se

puede obtener un control positivo de las proporciones de aplicación y de las cantidades de agua por medio de un sistema de aspersión. Esa cantidad y proporciones pueden reducirse a las que puedan almacenarse en la tierra dentro de la zona de raíces de la cosecha, sin causar desbordamientos, erosión o filtración profunda.

Los riegos por aspersión pueden usarse bajo cualquier condición práctica de granja en donde quiera que haya un suministro de agua. El costo inicial de la bomba, unidad motriz, tubería y rociadores es elevado, y los costos subsecuentes de energía y mano de obra hacen los riegos más costosos que las inundaciones.

Los riegos del subsuelo sólo se practican en escala limitada, principalmente en sitios favorables en Florida y a lo largo de la costa del Atlántico hasta New Jersey.

Maurice L. Petersen y Robert M. Hagan, de la Universidad de California, encontraron que aproximadamente el 92% de los riegos de tierras de pastos y hierbas en la parte occidental de los Estados Unidos de Norteamérica se hace por medio de inundaciones, y sólo el 8% por aspersión. En las regiones subhúmedas del medio Oeste, se emplean extensamente tanto las inundaciones como las aspersiones, y la mayoría de los riegos en el Este húmedo se aplican por aspersión, empleándose muy rara vez las inundaciones.

LA OPORTUNIDAD DE LOS RIEGOS en relación con la etapa de crecimiento de los campos y praderas de pasturas, requiere mayores investigaciones. Las que se han llevado a cabo en South Carolina, Virginia, y otros estados, indican que en las cosechas de campo, tales como maíz y tabaco, se han obtenido resultados tan buenos o casi tan buenos con menos aplicaciones de agua hechas durante las etapas críticas de crecimiento, como con los riegos continuos. Necesitamos averiguar si esas economías son posibles en las cosechas de capa vegetal.

Los sistemas de raíces relativamente superficiales de la mayoría de las cosechas de forrajes limitan la cantidad de agua que puede almacenarse en el área de la zona de raíces del perfil de la tierra. A veces se necesitan aplicaciones más frecuentes y relativamente pequeñas para conservar un equilibrio favorable de humedad.

Excepto en las áreas montañosas secas y elevadas del Oeste, los riegos de los campos y praderas de pasturas son más necesarios a mediados y a fines de la estación de crecimiento. Normalmente la precipitación de invierno satura el perfil de la tierra en forma suficiente para el crecimiento inicial de primavera. De allí en adelante se usan riegos suplementarios para reponer las deficiencias de las lluvias naturales. Deben suministrarse riegos para iniciar el crecimiento de primavera en las regiones más secas.

Si se practica la rotación de pastos y si se necesita agua adicional, los riegos deben hacerse con la oportunidad necesaria para que las aplicaciones ocurran varios días antes de que se suelte el ganado en un campo e inmediatamente después de que se saque de él. Es muy importante que haya bastante humedad disponible en la tierra para acelerar el nuevo crecimiento inmediatamente después de la recolección de una cosecha de heno.

EL EFECTO DEL NIVEL DE HUMEDAD de la tierra en la calidad y rendimiento de las cosechas de pasturas y heno ha sido objeto de muchas investigaciones.

Los programas de riego se afectan con los hábitos de enraizamiento de las cosechas, la capacidad de retención de agua de la tierra, el máximo de utilización de humedad, las relaciones existentes entre las cosechas y el agua y las lluvias.

En regiones con escasas lluvias o que carecen de ellas, los programas pueden ser razonablemente uniformes, tanto en frecuencia como en cantidad. La época de aplicación de agua a una granja en los estados del Oeste determina a menudo la frecuencia de los riegos. Los programas de las áreas húmedas quedan controlados en gran parte por la cantidad y distribución de las lluvias durante la estación de crecimiento.

La profundidad de los sistemas de raíces de las plantas limita la zona de don-

de puede extraerse la humedad para el crecimiento de las plantas. La capacidad de retención de agua del perfil de la tierra dentro de la zona efectiva de raíces, determina el volumen de agua que puede almacenarse para las futuras necesidades de crecimiento.

El máximo de utilización de la humedad controla la proporción de consumo de la humedad de la tierra y, juntamente con las lluvias que puedan ocurrir, determina la frecuencia de los riegos. Las características de crecimiento de la cosecha o mezcla a diferentes niveles de humedad de la tierra, afectan la selección del nivel de humedad adecuado para principiar los riegos. Las especies con sistemas de raíces más superficiales controlan generalmente los programas de riego, porque los necesitarán más a menudo que las especies que tienen raíces más profundas.

Se han hecho escasas investigaciones sobre los efectos de la deficiencia de humedad en el crecimiento de mezclas de pasturas o cosechas de forraje distintas de la alfalfa. W. H. Daniel, del Colegio del Estado de Michigan, informó que los rendimientos de la festuca roja y de la hierba azul recolectadas mediante un segado bajo, eran mayores cuando se aplicaban riegos frecuentes.

Los doctores Petersen y Hagan informaron que los estudios efectuados en la Universidad de California sobre los efectos de la escasez de humedad en el crecimiento del trébol ladino, demostraron que los riegos frecuentes producían mayor peso fresco pero poca materia seca adicional que las parcelas que recibían riegos menos frecuentes, pero que tenían cierta humedad disponible en la tierra en todo tiempo, llegando a la conclusión de que la etapa más económica para regar ocurre cuando se ha agotado el 75% de la humedad disponible en la zona efectiva de raíces.

Las prácticas de campo en la mayoría de las áreas húmedas están de acuerdo con esas conclusiones. Los riegos se inician ordinariamente cuando se ha agotado aproximadamente el 50% de la humedad disponible, a fin de que pueda cubrirse todo el campo antes de que esa humedad disponible se agote por completo en la parte que se riega a lo último.

Otras investigaciones indican que los rendimientos de forraje son mayores y que las plantas son más suculentas para el pastado cuando abunda la humedad. R. R. Robinson y V. G. Sprague, en los estudios que efectuaron en la Universidad del Estado de Pennsylvania, midieron los rendimientos de la hierba de huerto-trébol ladino de 5,770 a 2,950 libras por acre bajo una base de carencia de humedad, con y sin riegos, respectivamente, cuando no se empleaban fertilizantes de nitrógeno. La adición de nitrógeno a razón de 260 libras por acre con riegos y de 220 libras por acre sin riegos, aumentó los rendimientos a 8.050 y 6,020 libras por acre, respectivamente.

G. E. McKibben, sus asociados, efectuaron investigaciones en la Universidad de Illinois, que demostraron que podían mantenerse con éxito los plantíos de trébol ladino y hierbas por medio de riegos; pero que cuando no se usaban riegos, el trébol se sobrepastaba de preferencia a las hierbas durante los periodos de sequía, quedando sólo las hierbas en los campos.

Las comparaciones efectuadas en la Estación Lechera Experimental de Lewisburg, Tennessee, entre las pasturas regadas y sin riego consistentes de hierbas de huerto, trébol ladino y alfalfa, incluyeron registros de dividendos de las ventas de leche producidas por las vacas alimentadas con cada una de esas pasturas. Los rendimientos brutos anuales por acre durante el periodo de 3 años de 1951 a 1953, fueron de 552 dólares con riego y de 364 dólares sin riego, con un costo anual de 50 dólares por acre por aplicación del agua de riego. El plantío de trébol ladino se había consumido casi completamente después de 3 años de pasturas sin riego, pero cuando se emplearon riegos se conservó una buena mezcla de especies.

En la Universidad de Georgia, John R. Carreker, W. G. Liddell y H. B. Henderson, llegaron a la conclusión de que los días de pastado por acre y los aumentos de peso de los animales eran mayores en los campos regados que en

los que no se regaban. Las terneras de leche a mitad de crecimiento pastaron en campos de hierba Dallis y trébol ladino. Se aumentó el número de días por animal, por acre de pastado, de 280 al año sin riego a 372 con riego. El aumento de peso anual por acre fue de 315 y 395 libras sin riego y con riego, respectivamente. El promedio de aplicación de agua fue de 7.75 pulgadas al año en 5 aplicaciones durante el periodo de 4 años de 1947 a 1950.

Otros estudios efectuados por los doctores Petersen y Hagan en Davis, California, demostraron que la frecuencia de las siegas afectaba considerablemente la calidad y rendimiento de los forrajes. Las cosechas de forraje incluidas en el estudio fueron mezclas de 4 hierbas y diversas leguminosas. Las hierbas fueron la hierba de centeno anual, hierba de centeno perenne, hierba de huerto y festuca alta. Las leguminosas incluyeron el trébol de hoja ancha, trébol ladino y alfalfa, así como una mezcla de las tres. Las siegas se hicieron a intervalos de 2, 3, 4 y 5 semanas, los rendimientos de follaje aumentaron a medida que fue mayor el tiempo entre recolecciones. Se recomendó la rotación de los pastos de esas mezclas, con intervalos no menores de 21 días entre los periodos de pastado, para las mezclas de trébol ladino, y un poco mayores en las otras mezclas.

J. Nick Jones, Jr., C. M. Kincaid y sus asociados del Instituto Politécnico de Virginia, encontraron que los riegos aumentaban los días de pastado en 43, 49 y 60% para los animales de engorda, con aumentos individuales en el peso de las reses de 32, 70 y 42 libras en 3 de los 5 años. La cantidad de distribución de las lluvias en 2 de esos 5 años fue tal que casi no se necesitaron riegos, sin que se obtuvieran reacciones significativas a causa del agua adicional aplicada. Las cantidades netas de riego aplicadas fueron de 7.4, 7.0 y 8.2 pulgadas en los 3 años más secos. La mezcla de pasturas incluyó hierba azul, trébol blanco y trébol ladino-hierba de huerto en una tierra de marga de sedimento bien desaguada de origen calcáreo.

Con esos resultados se llegó a la conclusión de que en Virginia y en sitios con climas semejantes, las mejores posibilidades para el uso benéfico de los riegos en la producción de carne consisten en su empleo en superficies limitadas de mezclas de forraje de alta producción, cultivadas principalmente para heno y ensilaje, pero disponibles como pasturas suplementarias según se necesiten en los periodos de sequía.

Otros estudios efectuados por J. Nick Jones, J. E. Moody, y R. E. Blaser en Virginia, han comprobado ventajas significativas en el empleo de riegos para conservar las mezclas de pasturas a través de los frecuentes periodos de sequía de mediados y fines del verano. Se encontró que la conservación de un equilibrio favorable de humedad de la tierra producía un crecimiento mucho más uniforme durante toda la estación que el que se obtiene generalmente con las solas lluvias.

Los resultados de los riegos de pasturas en New York fueron semejantes a los de la investigación efectuada en Virginia. Los ingenieros agrícolas y los agrónomos creen que el riego de las cosechas de pastura y forraje sólo será productivo en estaciones más secas que lo normal. En un experimento efectuado en New York, en el que se usaron 3 proporciones de fertilizantes en una mezcla de trébol ladino-hierba de huerto, el promedio de aumento durante los 4 años de producción de materia seca debida a los riegos fue de 0.44, 0.28 y 0.05 de tonelada por acre, respectivamente, para las proporciones de fertilización bajas, medianas y altas.

La cantidad de agua utilizada por las cosechas que a veces se llama utilización de consumo o evaporación, depende de las condiciones de clima más que de la extensión y tipo de vegetación.

E. J. Russell, en un estudio de los trabajos experimentales efectuados en la Estación Experimental de Rothamsted, en Inglaterra, llegó a la conclusión de que la cantidad de agua transpirada por una cosecha depende de la cantidad de agua disponible para ella durante el periodo del día en que las estomas o pequeños poros de las hojas están abiertas y de la

cantidad de energía solar que recibe la cosecha. En cosechas túrgidas con estomas abiertas, la cantidad de agua transpirada depende de la energía disponible. La mayor parte de la energía absorbida por las hojas que no se refleja o vuelve a radiarse, se utiliza para evaporar el agua. Llegó también a la conclusión de que el agua utilizada por las plantas para la fotosíntesis, comprendía menos de 1% del total de evapotranspiración.

Los doctores Hagan y Petersen encontraron que las proporciones de utilización de consumo se afectaban muy poco por la composición botánica de las plantas de cosecha. Varias mezclas diferentes de hierbas y leguminosas utilizaron casi 0.3 de pulgada diario durante los meses calientes y secos de julio y agosto, y encontraron un patrón bien definido de extracción de agua de la tierra por las diversas mezclas botánicas. La extracción de humedad por una mezcla de trébol ladino-hierba, se limitó en gran parte a los 4 pies superiores de la tierra, y con una mezcla de trébol de hoja ancha-hierba, hubo una extracción apreciable en toda la profundidad de 6 pies de la tierra y las proporciones de utilización de consumo se afectaron muy poco con la altura del nuevo crecimiento o el corte de la mayoría de la parte superior de las plantas.

A. G. Van Horn encontró que los requerimientos de agua de los pastos de hierba de huerto y trébol ladino en la Estación Lechera Experimental de Lewisburg, Tennessee, fue aproximadamente de 2 pulgadas cada 10 días durante los 7 meses comprendidos de abril a octubre.

G. E. McKibben y sus asociados de la Universidad de Illinois, encontraron que se necesitaba agua adicional para mantener el crecimiento máximo de una mezcla de hierbas y leguminosas cuando la lluvia disminuía a menos de 2 pulgadas durante 2 semanas en verano.

J. E. Moody y sus asociados de la Estación Agrícola Experimental de Virginia, encontraron muy poca o ninguna diferencia en las proporciones de utilización de consumo por las mezclas de pasturas de hierba azul-trébol blanco y hierba de huerto-trébol ladino. Se necesitaron 2 pulgadas de agua diarias durante el verano para mantener un equilibrio favorable de humedad de la tierra en la zona de raíces de esas cosechas.

Las cosechas anuales sembradas para pastos temporales o heno pueden beneficiarse con los riegos. Su éxito depende de la rápida germinación, rápido crecimiento y temprana madurez. El agua aplicada durante las sequías cortas asegura la obtención de esos resultados.

Las cosechas de pastura anuales de invierno son populares en el Sur, en donde el clima es benigno, e incluyen las pequeñas gramíneas, tréboles, alverjones y otras, ya sea solas o combinadas. El tiempo normalmente seco de otoño demora a menudo sus fechas de siembra, germinación y crecimiento, y entonces los riegos permiten que se siembren a tiempo y que tengan un crecimiento rápido y continuo, lo que proporciona mayor cantidad de forrajes más temprano en invierno.

Las investigaciones efectuadas en la Universidad de Georgia permitieron descubrir que el riego de la avena y el trébol carmesí, después de sembrarse en septiembre y octubre, adelantó la primera fecha de pastado de febrero a mediados de noviembre y aumentó la producción de forraje en 200%.

Las cosechas de verano, tales como la hierba del Sudán y el mijo, reaccionan bien a la aplicación de aguas de riego durante las sequías. Los investigadores de la Estación Agrícola Experimental de Mississippí comprobaron rendimientos de peso verde de hierba del Sudán, que fueron respectivamente de 21.4 y 101 toneladas por acre con y sin riego. Las comprobaciones semejantes demostraron que los rendimientos del mijo fueron de 20.6 y 8.9 toneladas por acre.

Las prácticas de manejo necesarias para el riego de cosechas de pastura y forrajes varían con los métodos de riego empleados. Sin embargo, la fertilización y el manejo de las cosechas y de las tierras son consideraciones primordiales en donde quiera que se emplean riegos. La nivelación de la tierra y la preparación de las camas de semilla debe llevarse a cabo con gran precisión en las áreas occi-

dentales regadas con inundaciones. Se necesitan también provisiones adecuadas para el desagüe y control de la sal, y en los planes de riego de tierras onduladas, especialmente en las áreas húmedas, debe tenerse en cuenta el control del desbordamiento y la erosión.

En años recientes se han intensificado las investigaciones básicas que se refieren a la relación existente entre el agua y las plantas. Hay ya ciertos datos disponibles que ayudarán a la selección de especies y mezclas bajo las bases de adaptabilidad de la tierra, hábitos de crecimiento y requerimientos de agua, a fin de que haya una producción elevada y uniforme en todas las estaciones.

El doctor Blaser y J. E. Moody encontraron que los estudios de riego suplementarios efectuados en 14 especies y mezclas demuestran que puede evitarse gran parte del descenso de mediados de verano en la producción de las varias hierbas y leguminosas si se mantienen condiciones óptimas de humedad.

Encontraron también que en Virginia debe disminuirse la cantidad de semilla de leguminosas en las diversas mezclas de ellas con hierbas altas, si se usan riegos a fin de obtener y mantener mezclas debidamente balanceadas.

Las limitadas investigaciones efectuadas indican la conveniencia de aumentar las proporciones de fertilizantes sobre las que se consideran óptimas sin riegos. Las condiciones del sitio, tales como productividad de la tierra, especies de plantas y prácticas de manejo, rigen la proporción práctica máxima de fertilización que puede emplearse con provecho en conjunto con los riegos.

Si la humedad es suficiente para obtener proporciones uniformes de crecimiento, pueden prepararse los programas de pastado para utilizar eficientemente todo el crecimiento en las etapas en que éste es más nutritivo. Igualmente pueden prepararse los programas de recolección para obtener la máxima calidad y ventaja de rendimiento de las cosechas de heno y ensilaje. El riego de las pasturas hace posible emplear los sistemas más apropiados de pastado controlado, y pueden establecerse y seguirse los programas con la seguridad de obtener resultados eficientes. Se disminuye el pastado selectivo, se controla mejor la calidad y se disminuyen las pérdidas de forrajes debidas a los cortes periódicos de mantenimiento.

Los riesgos permiten el mantenimiento de un equilibrio adecuado entre las hierbas y leguminosas en las mezclas de pasturas y forrajes durante mayor periodo de tiempo que lo que es posible obtener bajo condiciones normales de lluvia en la mayor parte de las áreas. Las gruesas capas de hierba resultantes aumentan la capacidad natural de los campos y praderas para conservar el agua y la tierra.

JOHN R. CARREKER *se graduó en el Instituto Politécnico de Alabama, y es actualmente ingeniero agrícola de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas del Departamento de Agricultura y del Departamento de Ingeniería Agrícola, Estación Experimental de College, de la Universidad de Georgia.*

JAMES H. LILLARD *se graduó en el Instituto Politécnico de Virginia y es profesor de investigaciones sobre ingeniería agrícola en el mismo Instituto, y supervisor de proyectos de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas del Departamento de Agricultura.*

Prácticas de riego para la producción de alfalfa

C. O. Stanberry

PUEDEN NECESITARSE 800 toneladas de agua para producir una tonelada de heno de alfalfa. Los plantíos de alfalfa resisten bien a la sequía, pero necesitan más agua que la mayoría de las cosechas debido a su rápido y abundante crecimiento y al número de cortes. En 1955 se regó una cuarta parte de los 20 millones de acres de alfalfa de los Estados Unidos de Norteamérica.

Los tres métodos que se emplean más comúnmente para regar la alfalfa son las corrugaciones, bordos e inundaciones. Cada uno se adapta a una combinación

especial de condiciones, de acuerdo con los suministros de agua, la tierra y el clima.

Se emplean también los métodos de cuenca, aspersión y riegos del subsuelo. En la alfalfa se considera como buena una eficiencia de 70% en los riegos; pero en muchos lugares la planta de alfalfa no utiliza más de la mitad del agua entregada a las granjas.

El establecimiento del plantío merece atención especial, porque se requieren grandes cantidades de agua y mano de obra durante los tres años o más de su vida. Se facilitan los riegos si se preparan las camas de semilla con un declive uniforme.

La alfalfa se cultiva con éxito en diversos tipos de tierra. Las margas profundas y bien desaguadas con una gran capacidad de absorción y almacenamiento de agua son las más convenientes, y las tierras con lentas proporciones de penetración son menos adecuadas.

Cuando se están preparando las camas de semilla deben incorporarse cantidades suficientes de fertilizantes de fosfato. La aplicación de fertilizantes de nitrógeno para el establecimiento de los plantíos alienta frecuentemente la producción de hierbas.

La alfalfa se siembra ordinariamente en el otoño o primavera cuando no es rápida la pérdida de humedad de la superficie de la tierra; en agosto y septiembre, o desde marzo hasta mayo, en los estados del Norte, y en septiembre y octubre, o desde febrero hasta mediados de abril, en el Sur. En muchos sitios se prefieren las siembras de otoño porque entonces es menor el peligro de los daños causados por el viento. Las siembras de otoño deben hacerse lo suficientemente temprano para obtener un crecimiento adecuado de raíces que sobrevivan al invierno. En el Norte, frecuentemente son más satisfactorias las siembras de primavera, aunque pueden obtenerse buenos plantíos con rastrojo de gramíneas a fines de verano y principios de otoño.

Generalmente son aconsejables los riegos durante la preparación de las camas de semillas, y es sumamente importante llenar la futura zona de raíces a su capacidad de campo en tierras de contextura fina con proporciones lentas de infiltración. En un campo regado con anterioridad que tenga diferentes tierras, los plantíos pueden ser irregulares si algunos sitios se secan rápidamente.

La semilla inoculada de una variedad adaptada, debe colocarse con una sembradora a media pulgada de profundidad, o menos, en tierras de contextura fina, y a no más de una pulgada en tierras arenosas y de marga. Una cama de semilla firme y un buen contacto entre la tierra y la semilla proporciona la humedad suficiente para la germinación, el establecimiento de las raíces y el brote de las plantas, mientras haya humedad en la superficie de la tierra. El contacto de la tierra con la semilla en una cama de semilla de tierra vegetal puede ser inadecuado, a menos que se hagan riegos frecuentes o que prevalezcan las lluvias. La sequía destruye más brotes que cualquier otra causa.

Es innecesario el riego después de la siembra para el brote de las plantas si son adecuados la tierra, el clima y la preparación de la cama de semilla; pero algunos cultivadores prefieren sembrar con una cama de semilla seca, especialmente en tierras arenosas, para obtener una fecha de siembra más temprana. La alfalfa sembrada en tierras secas debe regarse inmediatamente, pudiendo necesitarse riegos adicionales para suavizar cualquier formación de corteza a fin de permitir el brote de las plantas. Pueden necesitarse también riegos frecuentes en tierras arenosas y en aquellas que tengan salinidad apreciable para impedir que las escaseces de humedad se vuelvan perjudiciales para la cosecha en desarrollo. Si es posible, se detiene el riego después del brote hasta que las plantas tengan una altura de 3 ó 4 pulgadas, o tengan 3 o más hojas verdaderas.

En muchas regiones es aconsejable otra cosecha conjunta sembrada ligeramente, de cebada, trigo o lino, como preparación para resistir los vientos de primavera. A menudo la alfalfa y la cosecha conjunta se siembran al mismo tiempo. Cuando se

esperan vientos fuertes, la semilla de alfalfa se siembra hasta que la cosecha conjunta tiene aproximadamente 6 pulgadas de altura, a fin de que quede protegida contra los vientos y las partículas de tierra.

El desarrollo principal de la planta de alfalfa durante los primeros meses ocurre en el sistema de raíces. Los brotes tiernos tienen raíces poco profundas y pueden sufrir graves daños durante el tiempo caliente con vientos que resecan. Los intervalos entre los riegos aumentan a medida que las raíces penetran más profundamente en la tierra.

Pueden cambiarse las características de las coronas y raíces bajo condiciones extremas de humedad, del marchitamiento, a más de la capacidad de campo. Si sólo se conserva un mínimo de humedad después de que brotan las plantas, se retrasa el desarrollo de las coronas y la producción de ramas es muy limitada. No se recomienda someter las plantas a graves escaseces de humedad deteniendo los riegos en un intento de forzar la penetración profunda de las raíces. Con mucha frecuencia los riegos afectan la ventilación, y pueden producir coronas pequeñas y un crecimiento lateral poco profundo de las raíces y hasta la muerte, especialmente en tierras consolidadas o de contextura fina. Cuando la planta está tierna, cualquier cosa que dañe los extremos de crecimiento de las raíces puede causar una deformación de la raíz principal típica. Cuando la humedad y la ventilación son adecuadas, la inoculación de la semilla produce una buena distribución de nódulos en el sistema de raíces. El buen enraizamiento y la inoculación aumentan los rendimientos de heno, pero los cortes tempranos y frecuentes retrasan el desarrollo.

La salinidad o acumulación de sales retrasa la germinación de la semilla, aminora la proporción de crecimiento y reduce la penetración de las raíces. Si el contenido de sales es muy elevado, debe lavarse el campo antes de la siembra. Un contenido de sal que dé una conductividad superior a 5 milimhos (medida de conductividad eléctrica en proporción a la salinidad) en el extracto de saturación, puede retrasar la germinación. Las raíces pueden penetrar y funcionar a una conductividad menor de 8 milimhos.

La humedad de la tierra debe conservarse a proximidad de la capacidad de campo cuando las plantas son tiernas. Los riegos frecuentes diluyen las sales concentradas o las remueven desliéndolas. Puede tolerarse una mayor concentración de sales en tierras de contextura fina que en tierras gruesas, porque las primeras retienen más agua para su dilución. Si la zona de raíces tiene buen desagüe, pueden emplearse aguas de riego que contengan cantidades apreciables de sal (hasta una conductividad de 8 milimhos), sin que se destruya la cosecha. Se añade agua adicional durante el invierno para lavar las sales acumuladas si la tierra es demasiado impermeable para permitir su desleimiento durante la estación de crecimiento.

A menudo se asocia la salinidad con un mal desagüe que puede producir una meseta de agua elevada, Cuando la sal se encuentra presente en el agua del suelo en cantidades perjudiciales es conveniente conservar la meseta de agua a una profundidad suficiente para que el efecto de la sal no dañe las raíces de la alfalfa en la zona de 4 pies de la superficie.

El mantenimiento de un plantío satisfactorio por medio de buenas prácticas de cultivo es necesario para obtener la mejor producción de heno. Las condiciones que disminuyen el vigor de las plantas, extremos de humedad, salinidad, deficiencia de elementos nutritivos y cortes demasiado frecuentes, hacen las plantas más susceptibles a daños, enfermedades, destrucción invernal e invasión de hierbas.

La alfalfa utiliza grandes cantidades de calcio, potasio y fósforo. Los dos primeros abundan en la mayoría de las tierras de riego del Oeste. Con frecuencia se necesitan y se recomiendan para muchas tierras cantidades adicionales de fósforo y, probablemente, de borón. El consumo apreciable de ambos depende de la humedad adecuada.

La destrucción invernal, común en muchos estados, se relaciona con la varie-

dad, vigor de las plantas, humedad de la tierra y tipo de tierras. El alto calor específico del agua evita los cambios más rápidos de temperatura en las tierras húmedas que en las secas. La mayor desecación de las coronas y de las raíces en tierras secas durante las heladas es también un factor importante. A la inversa, los largos periodos de congelación y descongelación en las tierras de contextura fina saturadas de agua levanta las plantas y expone las coronas a temperaturas y desecaciones perjudiciales. El daño es menor en tierras que tienen buen desagüe superficial y del subsuelo.

Las plantas de alfalfa se perjudican si el agua permanece demasiado tiempo (de 24 a 48 horas) en un campo, especialmente en tiempo caliente. Sin embargo, a veces las plantas en reposo permanecen varios días bajo el agua sin que sufran daños serios. Algunos cultivadores creen que la temperatura es un factor dominante, y llaman a esos daños "escaldado". Ese escaldado se debe probablemente a una combinación de efectos relacionados con la ventilación y otros factores asociados, tales como consumo de elementos nutritivos, asimilación y respiración de la planta. Los complicados daños parecen relacionarse con una deficiencia de oxígeno, a exceso de bióxido de carbono y, posiblemente, a la acción de los microorganismos.

La alfalfa que se encuentra en tierras de contextura fina es más susceptible a los daños causados por los excesos de riego que la que se encuentra en tierras arenosas permeables y bien ventiladas. La mala estructura de la tierra, que puede empeorarse con los riegos, restringe el movimiento de aire aun después de que desaparece el agua libre. A menudo las áreas desnudas de los campos indican desagües localizados poco satisfactorios, debido a las relaciones entre la contextura o la estructura o que pueden asociarse con los sitios bajos que sufren constantes excesos de riego, y ordinariamente son los primeros sitios en un campo que se cubren de hierba.

Comúnmente sufren los rendimientos cuando la meseta de agua invade la zona de alimentación de la alfalfa. La gravedad de los daños en una tierra dada depende de la profundidad de la meseta de agua. Las respuestas al cuestionario formulado por cierto número de especialistas de tierras, cosechas y riegos, en los 17 estados del Oeste, indicaron que las profundidades en las que ocurren daños serios y leves fueron de 29 a 38 pulgadas, 40 y 51 pulgadas y 55 y 73 pulgadas en tierras arenosas, de marga y arcillosas, respectivamente. Si hay salinidad apreciable, la zona de raíces sobre la meseta de agua debe ser de uno a 3 pies mayor. Una meseta de agua que fluctúa es peligrosa si una parte apreciable del sistema de raíces queda sumergida durante un largo periodo de tiempo en la estación de crecimiento. Se considera que la profundidad mínima que puede permitirse en una meseta de agua que fluctúa es de 42, 58 y 72 pulgadas para tierras arenosas, de marga y arcillosas, respectivamente. A menudo los riegos apropiados impiden el establecimiento y elevación de la meseta de agua hasta un nivel peligroso.

Los riegos de alfalfa reciben a menudo una prioridad más baja que los de otras cosechas, porque la alfalfa se conservará en una amplia gama de condiciones de humedad. Como el follaje de la planta de alfalfa es la planta que se recolecta, debe promoverse su crecimiento rápido. Se incrementa la producción con una aplicación total anual de agua que exceda a la necesidad para obtener los rendimientos máximos en la mayoría de las demás cosechas.

Las tierras húmedas se calientan más lentamente que las secas. Deben demorarse los primeros riegos de primavera hasta que la tierra está lo suficientemente caliente para producir un crecimiento activo. El efecto del enfriamiento del agua se utiliza con ventaja a mediados de verano en las regiones calientes del Sudoeste, y se cree que los riegos frecuentes producen un medio más favorable para el crecimiento de las raíces de las plantas, especialmente en el primer pie superficial de la tierra.

Se considera una buena práctica el

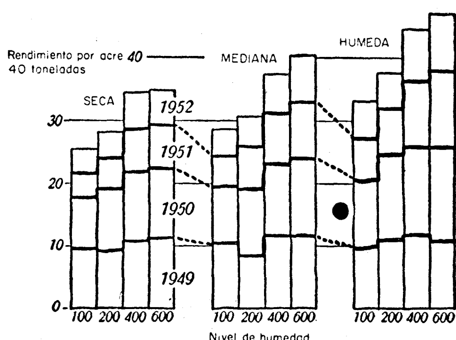
regar tan tarde como sea posible antes de los cortes para suministrar la humedad suficiente, a fin de obtener el rápido crecimiento de nuevos tallos y hojas después de los cortes. Los riegos antes de los cortes deben hacerse con la anticipación necesaria para permitir que la tierra superficial se seque en forma suficiente para evitar la consolidación superficial producida por los implementos de recolección.

Las plantas que tienen un año de edad pueden resistir considerables sequías. En algunas tierras impermeables, la alfalfa se fuerza ordinariamente a condiciones de reposo durante julio y agosto para evitar el escaldado y controlar las hierbas. Aun en las tierras bien desaguadas del Sur se retrasa la proporción de crecimiento a fines de julio y durante todo el mes de agosto. En esa temporada los riegos favorecen el crecimiento de hierbas de verano en la tierra superficial húmeda.

La cantidad de agua disponible en la zona de raíces de las tierras con bajas proporciones de infiltración puede disminuir gradualmente durante la estación de crecimiento, a pesar de los riegos regulares. Si es así, puede ser aconsejable hacer un riego adicional después del último corte de otoño para reponer el agua en el depósito de la zona de raíces.

En los climas más fríos la producción de alfalfa no ha sufrido cambio alguno dentro de una gama de manejo de riegos. Sin embargo, el crecimiento máximo cesa un poco antes de que se inicie el marchitamiento. La escasez de humedad, indicada por el color verde azulado del follaje, se desarrolla antes del marchitamiento grave. Probablemente es más crítica en tierras arenosas y en climas calientes, en donde la limitada capacidad de almacenamiento de humedad y el elevado consumo diario de agua sólo dan un pequeño factor de seguridad entre los síntomas de escasez y los daños graves.

En Yuma, Arizona, las diferentes tensiones de humedad a diversas profundidades de fosfato afectaron los rendimientos, como se muestra en la tabla al final de este capítulo. Aparentemente, la escasez de humedad y la frecuencia de riegos tuvieron más efecto en la producción de heno que en la conservación del plantío.



Efectos de la humedad y niveles de fosfato en los rendimientos de heno de alfalfa durante un periodo de 4 años en Yuma, Arizona. Las plantas se sujetaron a condiciones de escasez de humedad antes de cada riego, que variaron de mínimas (húmedas), moderadas (medianas) y máximas (secas). Las cifras de 100 a 600 se refieren a aplicaciones aisladas iniciales de P_2O_5 en libras por acre.

La utilización de consumo del agua significa la cantidad utilizada por las plantas más el agua que se evapora de la tierra en que crece la cosecha. La necesidad de agua de la alfalfa depende de la edad y vigor de las plantas, disponibilidad de elementos nutritivos, profundidad y contextura de la tierra, topografía, proporción de infiltración, método de aplicación del agua, escasez de humedad, profundidad del agua del suelo, lluvias, temperatura, movimiento del viento, horas de luz, velocidad del viento, longitud de la estación de crecimiento, contenido de sal en el perfil y proporción de absorción de agua. Si los demás factores son iguales, se necesitan riegos más frecuentes en las zonas más calientes del Sur que en las regiones frías del Norte.

Con humedad adecuada, tierra apropiada y un buen plantío, los factores más importantes que afectan la utilización de consumo de la alfalfa son la longitud de la estación de crecimiento y la temperatura. El uso total de agua es proporcional a la estación de crecimiento, y la máxima utilización ocurre en verano. Como la

longitud de la estación de crecimiento y la temperatura están asociadas, puede obtenerse un cálculo de la utilización estacional de consumo si se conoce la longitud de la estación de crecimiento en una localidad determinada. Se analizaron los datos de 11 estados, estudiando 31 determinaciones de medición de la utilización de consumo. Algunas cifras representaban resultados promedios en varios años en una localidad dada. El análisis de datos (r = 0.956) indica un promedio de utilización de consumo de 0.23 de pulgada-acre diario durante la estación de crecimiento, independientemente de la localidad.

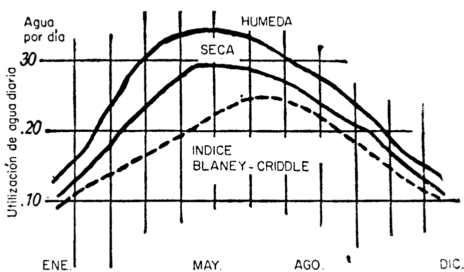
Se determinó el índice Blaney-Criddle con los resultados de los estudios experimentales sobre la alfalfa llevados a cabo en los estados del Oeste, y mediante su uso se calcula la utilización de consumo de agua con los promedios mensuales de temperatura, longitud de la estación de crecimiento y horas de luz. A medida que quedan disponibles los datos climatológicos necesarios, puede calcularse la utilización de consumo en la gran mayoría de las regiones del Oeste.

Mientras se riega la tierra con más frecuencia, mayor es la pérdida por evaporación de ella, que es parte de la cifra de utilización de consumo. Cuando se riegan los campos que se encuentran en varias condiciones de sequía, además del incremento de la pérdida por evaporación de la tierra, las plantas transpiran más agua cuando hay baja escasez de humedad (saturación) que cuando hay alta escasez (sequía).

Esto se muestra en la tabla al final de este capítulo, que da los resultados de un experimento efectuado en Yuma, Arizona. Tanto la proporción diaria de utilización de agua como la utilización total anual, fueron mayores en el tratamiento de saturación o de baja escasez de humedad. En Proseer, Washington, S. J. Mech hizo riegos cuando la tierra conservaba el 50, 35 y 15% del agua disponible. La utilización de consumo de agua durante el año fue de 42, 36 y 33 pulgadas, respectivamente.

Cuando la aplicación de fertilizantes de fosfato aumenta los rendimientos de heno, aumenta también la utilización de consumo de agua. Sin embargo, el incremento de la utilización del agua no es proporcional a los mayores rendimientos. El agua se utiliza más eficientemente a medida que se aumentan los fosfatos para llenar las necesidades de la cosecha.

La proporción diaria de utilización de consumo de agua por la alfalfa, se afecta con la etapa de desarrollo de las plantas. Los cortes y la remoción de la cosecha disminuyen rápidamente la cantidad de agua utilizada. La transpiración aumenta de nuevo a medida que se desarrolla el crecimiento, y la utilización de agua se nivela cuando se restablece una cobertura razonable de follaje.



Utilización de consumo de agua de la alfalfa durante el año en Yuma, Arizona, afectada por la escasez de humedad. Las plantas se sujetaron a escaseces mínimas (húmeda) y apreciables (seca) antes de cada riego durante un periodo de 3 años.

La utilización de consumo puede variar más de 100% en las áreas productoras de alfalfa de cualquier Estado. Por ejemplo, la utilización de consumo de agua calculada para ciertas áreas de Nevada, varía de 14 a 56 pulgadas. Se calculó un mínimo de utilización de consumo de la alfalfa en los estados del Oeste, de 12 a 16 pulgadas, para la alfalfa que se producía en los valles montañosos en donde las estaciones de crecimiento son cortas. El máximo fue un valor de medición de 88 pulgadas en el Desierto de Yuma, en Arizona. El mayor promedio mensual de utilización del agua en este caso ocurrió durante mayo y junio con un valor promedio de 0.34 de pulgada diario. Cuando hubo temperaturas elevadas, baja humedad y viento suficiente, el má-

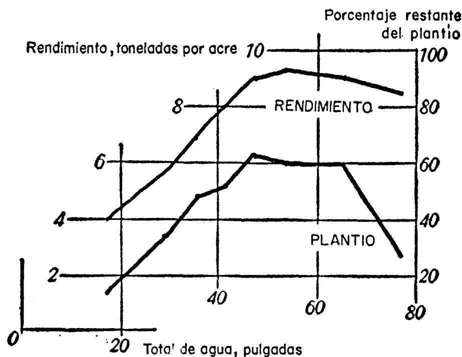
ximo de utilización diaria de consumo excedió de 0.5 de pulgada. K. H. Harris y W. D. Criddle calcularon que el máximo de utilización diaria de la alfalfa es aproximadamente de 0.20 de pulgada al día en clima frío, 0.25 de pulgada en un clima moderado y 0.30 de pulgada en un clima caliente como el del Valle Imperial de California.

CUANDO SE DEBE DE REGAR y cuanta agua hay que aplicar depende de la proporción de utilización de la humedad por la alfalfa y de la capacidad de agua disponible en la zona de raíces. El índice Blaney-Criddle da un cálculo práctico de la proporción de utilización de agua por las plantas en una localidad determinada. Debe tener en cuenta el uso diario, porque varía esencialmente desde cero en primavera a 0.2 de pulgada, o más, al día a mediados del verano, dependiendo de las condiciones y localidad. Un cálculo cuidadoso del máximo de humedad disponible en la zona de raíces de una tierra dada, suministra el resto de la información necesaria.

Una inspección relacionada con programas de riego indica que el 60% de los cultivadores de alfalfa riegan después de cada corte, el 25% cuando reciben el agua, el 10% depende del aspecto de las plantas y sólo 5% lo hace de acuerdo con exámenes de la tierra. No es posible demorar los riegos hasta que las raíces de las plantas extraigan toda el agua disponible de la zona de raíces. Aunque haya humedad disponible en abundancia en las partes más profundas de la zona de raíces, pueden disminuirse los rendimientos debido a la escasez de humedad, porque hay una cantidad insuficiente de raíces para absorber las cantidades de agua que son necesarias. Debe reponerse la humedad disponible en el depósito de la zona de raíces antes de que la proporción de crecimiento de las plantas disminuya apreciablemente.

COMO LA HUMEDAD ADECUADA y la ventilación son necesarias, puede esperarse mejor crecimiento cuando queda del 35 al 85% de la humedad fácilmente disponible en la zona activa de raíces. Sin embargo, como la contextura de las tierras y su profundidad son variables, esto significa que difieren grandemente las capacidades de humedad disponible. Es más sencillo proyectar los riegos cuando queda en la zona activa de raíces una cantidad determinada de agua, 2 ó 3 pulgadas, que cuando queda todavía un 35%. Pueden calcularse las fechas de los riegos cuando se conocen la capacidad de retención de humedad de la zona de raíces y la utilización diaria de esa humedad. La humedad disponible que se retiene, proporciona un factor de seguridad para cualquier error de cálculos, demoras en las entregas de agua y cantidad insuficiente de raíces en la zona baja de extracción.

LA CANTIDAD DE AGUA QUE HAYA que aplicar depende de la profundidad de la zona activa de raíces y de la cantidad de agua disponible que pueda retenerse. La profundidad de la zona activa de raíces se determina muestreando dos veces la tierra. Las primeras muestras se toman 2 ó 3 días después de hacer un riego completo y se determina la humedad hasta una profundidad de varios pies. Se detienen los riegos subsecuentes hasta que las hojas se vuelvan de color verde azulado, indicación de escasez de humedad. Entonces se determina de nuevo el nivel de humedad de la tierra. La pérdida de humedad en los diversos horizontes define la zona activa de raíces.



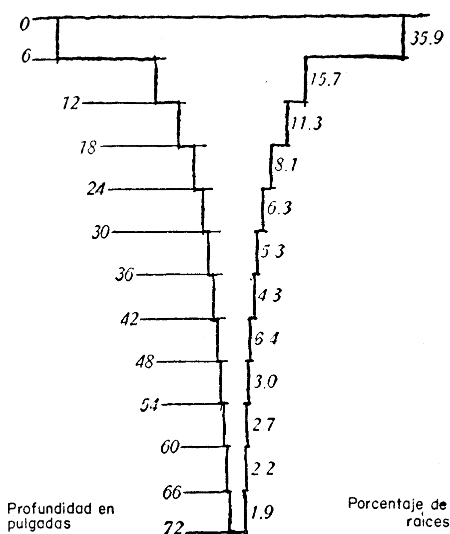
Efectos de la cantidad de agua, aplicaciones anuales de más precipitación, en Davis California, en los promedios de rendimientos durante 6 años y en el recuento final de plantíos de alfalfa.

En la mayoría de las tierras la humedad disponible varía de 0.7 a 2.0 pulgadas-acre por pie, dependiendo de la contextura. Una tierra arenosa, o de marga, retiene menos de una pulgada de agua disponible por pie de tierra; pero la humedad en las tierras de contextura fina puede exceder de 2 pulgadas. Los análisis de laboratorio proporcionan cálculos más precisos.

Los riegos deben proporcionar agua suficiente para cubrir los requisitos de la utilización de consumo de la alfalfa más una cantidad adicional para compensar las pérdidas por filtración profunda y desbordamiento. Se obtiene la máxima eficiencia en los riegos reponiendo solamente el depósito de la zona de raíces, a menos que la presencia de sales haga necesario lavar las tierras.

Más del 90% del total de agua extraído de la tierra en muchas áreas de riego viene de los 3 pies superiores de la tierra y la alfalfa depende de los riegos superficiales. Los 6 pies superiores comprenden la zona principal de remoción de humedad de la alfalfa, a menos que el agua del suelo sea de importancia. Como regla, se obtiene poco aumento en los rendimientos si se aplican más de 6 pulgadas de agua en un solo riego, independientemente del tipo de tierra. Un riego de 6 pulgadas es muy abundante y sólo se justifica en tierras profundas, bien desaguadas, de contextura media y con buena penetración de raíces. Las aplicaciones de 3 ó 4 pulgadas de agua pueden ser suficientes.

Las tierras superficiales, arenosas o saladas, pueden necesitar doble cantidad de riegos que las de contextura fina. En tierras y a alturas comparables, el número de riegos aumenta con las estaciones de crecimiento más prolongadas que se encuentran más al Sur. En las Dakotas pueden emplearse 3 riegos, o menos, durante 2 ó 3 cortes, pudiendo necesitarse más de 20 en tierras arenosas o saladas en el Sudoeste durante 7 u 8 cortes. El tiempo necesario para aplicar eficientemente la cantidad deseada de agua, depende de la proporción de absorción de humedad por la tierra, es decir, la proporción de infiltración. Las arenas, margas y arcillas



Distribución de raíces (por peso) a una profundidad de 6 pulgadas en las plantas de alfalfa de 5 años de edad en Davis, California. Seis frecuencias de riegos, variando de 12 aplicaciones de 2.5 pulgadas a 2 de 15 pulgadas anualmente, no produjeron diferencias apreciables.

tienen ordinariamente proporciones de infiltración rápidas, medianas y lentas, respectivamente. La planta de alfalfa en sí aumenta la proporción de infiltración de una tierra. En Prosser, Washington, la alfalfa de segundo año aumentó la infiltración en 69%, y en 138% el tercer año.

A veces se obtienen buenos rendimientos de heno cuando la humedad proviene de una meseta de agua que se encuentra a 10 pies, o más, bajo la superficie. El desarrollo de raíces es considerable en los horizontes que contienen humedad inmediatamente arriba de la meseta de agua. Se puede concluir, por lo tanto, que los riegos frecuentes no son obligatorios, si los elementos nutritivos y la penetración de las raíces al borde capilar sobre una meseta de agua son adecuados.

Los riegos suplementan las lluvias en algunos estados del Oeste, y en ellos puede requerirse sólo un riego anual. Tienen que considerarse las fluctuaciones anuales en cantidad y frecuencia para la preparación de programas de riego. Cuando las tierras son profundas, almacenan gran-

des cantidades de agua para usarse con posterioridad.

El patrón de extracción de humedad es una indicación de la actividad de las raíces. La zona de extracción de humedad es aproximadamente proporcional a la distribución de las raíces de la alfalfa.

El sistema de raíces se caracteriza por una raíz primaria que puede penetrar más de 20 pies en tierras profundas y bien desaguadas. Las pequeñas raicillas proporcionan una gran superficie de absorción de humedad y de elementos nutritivos. Normalmente las prácticas de cultivo afectan muy poco la distribución de raíces, y esa distribución aumenta con la edad y en climas cálidos, y se restringe con la mala ventilación, una meseta de agua elevada, capas impermeables, organismos destructores y salinidad. Las raíces pueden concentrarse anormalmente en la vecindad de los fertilizantes necesarios, capas de contextura o en la zona húmeda sobre una meseta de agua.

Los tres factores principales que afectan el patrón de extracción de humedad son la extensión y distribución de las raíces, la disponibilidad y distribución del agua y el vigor de las raíces, así como los factores que lo afectan. Normalmente se usa mayor cantidad de agua de la superficie, y las zonas más profundas del perfil suministran cantidades progresivamente más pequeñas. La planta de alfalfa obtendrá la mayor parte de su humedad, si la hay disponible, de los 4 pies superficiales en la mayoría de las tierras de riego. La humedad mantenida a la misma tensión en toda la zona de raíces, se remueve proporcionalmente a la distribución de las mismas. Sin embargo, si la escasez varía grandemente, puede removerse más agua de la zona de tensiones menores.

Las pequeñas variaciones de humedad entre el marchitamiento y la capacidad de campo tienen poco efecto en los hábitos de enraizamiento de la alfalfa. En dos sitios de California se aplicó un total de 30 a 36 pulgadas anuales de agua de riego para el establecimiento y crecimiento de la alfalfa. El total de agua en cada año se dividió en 2 a 12 aplicaciones. Al final de un periodo de 3 a 5 años la excavación y remoción de raíces hasta una profundidad de 6 pies revelaron que la profundidad de aplicación o la frecuencia de riegos no tenía efecto alguno sobre la distribución de raíces.

D. R. Shockley propuso en 1953 un patrón básico de extracción de humedad. De los datos disponibles para cierto número de cosechas, el doctor Shockley concluyó que la mayoría de las cosechas de riego tienen patrones semejantes de extracción de humedad. Aunque varía la profundidad de enraizamiento aproximadamente el 40% de la humedad extraída viene de la cuarta parte superior de la zona de raíces, con porcentajes de 30, 20 y 10 para las otras tres cuartas partes sucesivas. Recientemente analicé los datos obtenidos en 28 pruebas de alfalfa efectuadas en 10 estados. El promedio de resultados fue de 47, 26, 17 y 10% en las cuatro cuartas partes; pero hubo grandes variaciones entre las diferentes localidades.

La alfalfa cultivada durante 4 años en tierras finas arenosas en Yuma, Arizona, se regó a diferentes niveles de escasez de humedad en la zona de raíces. La alfalfa regada frecuentemente ("saturada" o a baja escasez de humedad), utilizó el 27% de la humedad disponible en los 4 pies superficiales de la tierra entre los riegos. Las lecturas de tensiómetro tomadas antes de los riegos indicaron que las raíces tenían más actividad para la remoción de agua a la profundidad de 6 pulgadas. Los 4 pies superficiales de la tierra proporcionaron el 85% del total de agua utilizada.

La alfalfa regada a intervalos poco frecuentes ("seca" o con escasez apreciable de humedad), utilizó el 80% de la humedad disponible en las 48 pulgadas. La zona de raíces más activa fue la de 24 a 36 pulgadas de profundidad, y los 4 pies superficiales de la tierra proporcionaron el 72% del total de agua utilizado.

La actividad de las raíces auxiliares cerca de la superficie disminuye en algunas regiones durante la temporada de calor. Los riesgos frecuentes en Yuma pro-

ducen un aumento en la extracción de agua del primer pie superficial de la tierra, debido aparentemente a un efecto de enfriamiento.

El fosfato adicional indispensable para la producción de barro en la Meseta de Yuma, influencia también la zona de extracción de humedad. Se encontró que la remoción de fósforo de la tierra es proporcional a la cantidad aplicada. Las aplicaciones abundantes aumentaron la actividad relativa de las raíces, debido aparentemente a que penetraron a donde podían obtener el fósforo a pesar de las condiciones de elevada temperatura de la tierra que son adversas para el crecimento de las plantas. Por lo tanto, se alteraron los hábitos de enraizamiento de las plantas para aprovecharse de condiciones que normalmente limitan el crecimiento.

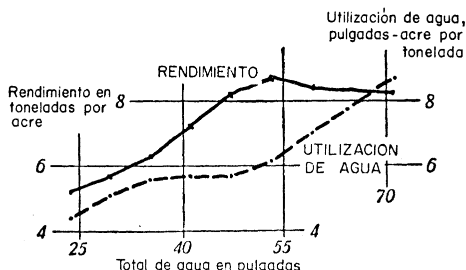
Otro factor que influencia la zona de extracción de humedad es el enlodamiento de las raicillas durante el verano, deterioro que comienza a fines de primavera, habiendo poco crecimiento nuevo de ellas hasta que vuelve el tiempo frío.

La eficiencia de utilización de la tierra indica el agua que se transpira y evapora de ella por unidad de materia seca producida. Puede expresarse como pulgadas-acre o pies-acre de agua utilizada para producir una tonelada de heno.

La eficiencia de la utilización de agua depende del crecimiento y transpiración de la alfalfa. El crecimiento y la transpiración se relacionan con el vigor de las plantas y con factores de medio, tales como clima, productividad de la tierra y escasez de humedad en ella, siendo el clima el más importante de ellos. Se implica principalmente los factores que influencian la fuerza de evaporación del medio aéreo. Si las condiciones de crecimiento son satisfactorias, la proporción de transpiración de las plantas aumenta con la elevación de la temperatura, la disminución de la humedad relativa y los mayores movimientos de aire.

Los requerimientos mínimos de la alfalfa en las Dakotas parecen ser aproximadamente de 4 pulgadas-acre por tonelada de heno producido, mientras que el mínimo en el clima más caliente de las regiones del sur de California o Arizona, varía entre 6 y 8 pulgadas-acre.

El crecimiento y la transpiración de la alfalfa parecen ser interdependientes hasta que se han desarrollado una gran área de follaje y que se ha alcanzado una pro-



Rendimientos de alfalfa y eficiencia de utilización de agua en Delhi, California, según se afectan por la cantidad total de agua disponible anualmente para producción de heno durante un periodo de 3 años.

porción satisfactoria de producción de tejidos. Sin embargo, más allá de ese punto la proporción de transpiración varía apreciablemente con poco efecto en el crecimiento. En Riverside, California, ocurren grandes y constantes diferencias en los requerimientos anuales de agua. Sólo se usó el 57% de agua para producir una tonelada de heno en la primavera y principios del verano de la necesaria a fines del verano y en el otoño. Los resultados de los estudios efectuados en Yuma durante 4 años, muestran la misma tendencia. Los requerimientos de agua aumentaron gradualmente de marzo a mediados de julio, y se necesitó un 53% más de agua por tonelada de heno en el mes comprendido del 15 de julio al 15 de agosto que en el mes comprendido del 15 de junio al 15 de julio. Las condiciones climatológicas no fueron lo suficientemente diferentes entre esos dos periodos para explicar la gran diversidad en los requerimientos de agua. Sin embargo, la proporción de crecimiento no fue satisfactoria. Los resultados obtenidos en Yuma indican que la eficiencia de utilización de agua es menor no sólo en el periodo excesivamente caliente del verano, sino también durante el tiempo de-

masiado frío para permitir un buen crecimiento.

La alfalfa que se cultiva en tierras altamente productivas utiliza el agua más eficientemente que la que se cultiva en tierras estériles con poca ventilación y concentraciones perjudiciales de sal. El incremento del crecimiento de la alfalfa mejorando la productividad de una tierra, da como resultado la transpiración de una mayor cantidad total de agua. Sin embargo, la eficiencia de utilización del agua es mayor, ya que se obtienen mayores rendimientos sin ningún aumento proporcional en la cantidad de agua transpirada. En los estudios efectuados en Yuma se necesitaron 14 pulgadas-acre de agua para producir una tonelada de heno en tierras deficientes de fósforo. En la misma tierra a la que se aplicaron cantidades adecuadas de fosfato, sólo se necesitaron 8 pulgadas-acre.

Bajo una grave escasez de humedad las plantas tienen poco o ningún crecimiento, pero continúan utilizando cierta cantidad de agua. En el extremo opuesto, si la tierra es demasiado húmeda, aumentan tanto la transpiración por las plantas como la evaporación de la superficie de la tierra. El efecto de escasez es más pronunciado en el crecimiento que en la utilización de agua por tonelada de heno producido. Las variaciones en la humedad de la tierra dentro de la gama disponible, aparentemente no son de importancia para la eficiencia de utilización del agua hasta que se llega a los extremos.

EN GRAN PARTE, EL PROBLEMA más importante del Oeste de riego es el de obtener la máxima producción económica de los limitados suministros de agua. En esas áreas los agricultores cultivan actualmente cosechas que requieren un mínimo de agua para obtener dividendos máximos en efectivo. Algunas de las grandes variaciones mencionadas en las cantidades de agua necesarias para la producción de alfalfa, pueden controlarse con un buen manejo de los cultivos.

Debe hacerse hincapié en el incremento de la eficiencia de la utilización de agua para permitir que el agricultor cultive las cosechas que desea. El incremento de la eficiencia de la utilización de agua en la alfalfa es la última fase del proceso que se inicia con la entrega de agua en las granjas. A medida que se obtiene más información por medio de las investigaciones y que la necesidad de agua se hace mayor, debe ser posible mantener la producción de alfalfa al nivel de 1955 con un poco más de la mitad del agua utilizada para ello.

C. O. STANBERRY *es técnico de tierras y director de proyectos de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas del Servicio de Investigación Agrícola y de la Universidad de Arizona.*

Desarrollo y mejoramiento de las praderas en las marismas costeras

Robert E. Williams

LA FAJA DE MARISMAS COSTERAS que se extiende desde el extremo sur de Texas hasta Florida contiene millones de acres de tierras de pastos. Esa faja sólo tiene unos cuantos cientos de pies de ancho en algunos estados y es de más de 50 millas de ancho en las áreas del delta del río Mississippí, al sur de New Orleans. Su altura varía de 2 pies bajo el nivel del mar a 2 pies sobre el mismo. Las áreas de pradera mayores y más importantes se encuentran en el sudoeste de Louisiana y en el sudeste de Texas. Louisiana tiene 2 millones de acres de tierras de pastos de marismas.

El clima es subtropical y el promedio de lluvias es de 40 a 60 pulgadas anuales. Las temperaturas varían de 20° hasta 102° F. Las marismas se inundan periódicamente con un flujo de agua dulce de las tierras altas o con las marejadas producidas por los vientos que arrastran las aguas del golfo de México. Las marismas son famosas como productoras de fauna de pelo y como área de invernación de aves acuáticas; pero se ha escrito muy poco sobre la producción de ganado

en ellas, que comprenden tierras minerales y orgánicas que son lo suficientemente firmes para que pueda pastar el ganado.

Los problemas de agua en las marismas son complicados. Los periodos de inundación pueden seguir a los de sequía, que pueden ser lo suficientemente graves para dificultar el crecimiento de las plantas. Las fluctuaciones en la calidad del agua son igualmente complejas. El agua dulce de las tierras altas puede reemplazarse en corto tiempo con agua salada que penetra del Golfo a través de los lechos y canales.

Los bajos promontorios costeros del sudoeste de Louisiana atraviesan las marismas de Este a Oeste, casi paralelos a la costa actual del golfo de México. Esos angostos promontorios son playas antiguas y se encuentran desde unas cuantas pulgadas hasta 5 ó 6 pies sobre el nivel general de las marismas.

Los promontorios mayores originalmente se encontraban cubiertos de robles y otros árboles de madera dura. Los pobladores comenzaron a establecerse en el siglo XIX a lo largo de esos promontorios, y cortaron gran parte de los árboles para sus cabañas, cercados, leña y madera para producir humo, que quemaban durante la estación de los mosquitos.

Las tierras de los promontorios son minerales e incluyen arcillas y arenas finas de marga con frecuentes depósitos de conchas marinas. Las tierras son fértiles; pero los promontorios eran demasiado pequeños para sostener una cantidad creciente de habitantes, y éstos volvieron cada vez en mayor número a los promontorios mismos para ganarse la vida con la producción de ganado, de cerdos y caza de animales de pelo.

Las marismas eran prácticamente ilimitadas, sin cercados, y producían hierbas nutritivas para el ganado en gran abundancia. Este vagaba a su antojo cuando las marismas estaban secas y se concentraba en los promontorios cuando el agua cubría casi todo el país.

Los riesgos de la producción de ganado en las marismas son el calor, los insectos, las enfermedades, las lluvias abundantes, las mareas causadas por los vientos que inundan las áreas de pastos, la falta de abrigos, las sequías prolongadas y las tierras inestables en las que se hunde el ganado. Hay otros problemas adicionales que consisten en el excesivo pastado, mala distribución de los pastos, falta de cercados, agua inadecuada que no puede beber el ganado, incendios no controlados en las marismas, invasión de las aguas saladas, una abundancia de plantas indeseables y carencia de suministros alimenticios de reserva para los periodos críticos.

El ganado ha continuado aumentando a pesar de las grandes dificultades locales. Tanto por selección natural como debido a las mejorías planeadas, se han producido especies y cruzas de ganado que resisten el calor, soportan los insectos y, cuando es necesario, pastan con el vientre en el agua.

En 1948 los distritos de conservación de tierra de Louisiana se dieron cuenta de los problemas de conservación de las marismas y comenzaron a planear su solución. Los distritos ayudaron a los terratenientes a planear y aplicar medidas de conservación de las praderas en donde las condiciones naturales de la tierra y del agua hacen de las plantas de forraje nativas la cosecha más valiosa de la tierra.

Las praderas de marismas dulces y de marismas saladas son los dos tipos principales en esas áreas. Un sitio de pradera es una área con condiciones suficientemente uniformes de tierra, clima y biología natural para producir una vegetación clímax especial, o sea la etapa de culminación del posible desarrollo de la vegetación en una región. Las praderas de marisma dulce tienen vegetación que crece solamente bajo condiciones prácticas de agua dulce, y se extienden a lo largo del lado interior de las marismas en donde se acumula el agua de las praderas y tierras bajas.

Los sitios de marismas saladas cubren la ancha faja que se extiende desde donde existen condiciones de agua dulce hasta el Golfo. En esas amplias zonas ocurre cierta mezcla de plantas, pero puede reconocerse fácilmente cada sitio por la

presencia de las plantas clave que lo distinguen.

Las condiciones de pradera se determinan resumiendo la vegetación clima y las demás que ocurren en cada sitio. Las áreas se clasifican como de condiciones excelentes, buenas, aceptables y malas, de acuerdo con las clases de plantas que se encuentran presentes. Las condiciones de las praderas muestran hasta qué punto se han deteriorado bajo su capacidad potencial de producción. Las condiciones de pradera son guías útiles para la utilización de las mismas y para escoger prácticas que mantendrán las condiciones excelentes y buenas o que mejorarán las aceptables y malas.

La paja fina *(Panicum hemitomon)*, la cizaña gigante *(Zizaniopsis miliacea)* y la caña común *(Phragmites communis)*, son las plantas más nutritivas de las marismas dulces y son la clave para determinar las condiciones de pradera. Esas tres hierbas declinan rápidamente con un intenso pastado, debido a que el ganado las consume primero. Cuando los inviernos son benignos se mantienen verdes todo el año y comprenden del 75 al 100% de la vegetación en las praderas de marisma dulce en condiciones excelentes, del 50 al 75% en praderas en buenas condiciones, del 25 al 50% en las praderas en condiciones aceptables y de cero a 25% en las praderas en malas condiciones.

Las heladas matan la paja fina sobre la superficie de la tierra. La cizaña gigante y la caña común, menos vulnerables a las heladas, suministran buenos pastos de invierno casi todos los años. La cizaña gigante es un indicio de condiciones de tierra firme. La paja fina crece bajo condiciones de tierra que varían de arcillas firmes minerales a marismas orgánicas "flotantes". La caña común crece igualmente en las praderas de marismas dulces o saladas.

Las hierbas de ortiga especies *(Polygonom)*, la hierba de cocodrilo *(Alternathera philoxeroides)*, el cascabel *(Daubontonia drummondi)* y otras hierbas, invaden las praderas de marismas dulces cuando las hierbas mejores se agotan con el pastado. La productividad de las praderas en condiciones aceptables y malas es sólo la mitad de aquellas que se encuentran en condiciones buenas y excelentes.

Las praderas en excelentes condiciones sostienen una unidad animal en 3 acres; las que se encuentran en buenas condiciones la sostienen en 4 acres; las praderas aceptables las sostienen en 6 acres, y las praderas malas pueden sostenerla en 10 acres.

Las hierbas forrajeras de mayor valor en las marismas saladas son el esparto de marisma *(Spartina patens)*, el esparto grueso *(Spartina cynosuroides)*, el esparto liso *(Spartina alterniflora)* la hierba salada costera *(Distichlis spicata)* y la caña común. Las condiciones de pradera son mejores cuando la mayor parte de la cobertura se compone de ellas. El páspalc costero *(Paspalum vaginatum)* y el páspalo largo *(Paspalum lividum)*, dos hierbas rastreras que suministran buenos forrajes, aumentan en algunos tipos de praderas de marisma salada en las primeras etapas de excesos de pastado. El páspalo largo tiene valor como productor de heno y como planta inofensiva de pastura. Crece desde las áreas ligeramente saladas hasta sitios estrictamente de agua dulce. El junco de aguja *(Juncus roemerianus)* y la hierba de resumidero de hoja ancha *(Iva frutescens)* son los principales invasores de las praderas de marisma salada en malas condiciones.

El junco Olney *(Scirpus olneyi)* y el junco de marisma salada *(Scirpus robustus)* se encuentran también en las praderas de marisma salada. Los come el ganado, pero su valor principal es como alimento de la rata almizclada. En las áreas que se dedican a la producción de ella, a menudo se planea el manejo de los pastos para favorecer esas dos plantas.

El chícharo forrajero de vaina velluda *(Vigna repens)* es la leguminosa más común en las marismas y se encuentra en áreas ligeramente elevadas en ambos tipos de praderas. Como es anual no es muy segura para pastos. En estaciones favorables produce un gran volumen de forraje que el ganado come sin dificultad.

Las praderas de marisma salada en condiciones excelentes, sostendrán una uni-

dad animal por cada 4 acres; las que están en buenas condiciones, una unidad por cada 6 acres; las que están en condiciones aceptables, una unidad por cada 8 acres, y las que están en malas condiciones, una unidad por cada 12 acres.

El número y distribución de los bajos promontorios costeros en las praderas de marismas tiene una profunda influencia en la distribución del pastado del ganado que permanece en los promontorios o cerca de ellos cuando el agua cubre las marismas. Sirven también como lugares de reposo del ganado, en donde permanecen las terneras tiernas mientras pasta el ganado, y en ellos tienen cierto alivio contra los ataques de los mosquitos. Los promontorios son los únicos sitios en que puede cuidarse y alimentarse el ganado en épocas de emergencia.

Los promontorios y áreas adyacentes ordinariamente se utilizan en exceso, las praderas más distantes se utilizan debidamente y las áreas lejanas pueden utilizarse muy poco o quedar abandonadas. Durante las prolongadas estaciones húmedas muchos promontorios quedan desnudos debido a la concentración de ganado, aunque la unidad de pradera en total esté poblada debidamente.

MUCHOS GANADEROS LOGRAN una utilización uniforme de las praderas mediante la construcción de pasos para el ganado, bordos de tierra construidos desde los promontorios a las áreas de pradera para mejorar su accesibilidad y ayudar a su utilización uniforme. Sirven como senderos, sitios de reposo, sitios de nacimiento para el ganado y de descanso para las terneras tiernas mientras pastan las vacas, y permiten al productor de ganado el trabajarlo en cualquiera estación del año.

Las excavaciones de préstamo de donde se toma la tierra para construir los pasos para el ganado se hacen a un lado y otro del bordo, a intervalos de varios cientos de pies. De ese modo el ganado puede bajar de los bordos para pastar en cualquier lado. Las excavaciones alternadas evitan también que el agua fluya fuera de las praderas. Cuando los pasos de ganado se construyen a lo largo de los linderos de una pradera, puede tomarse la tierra del lado limítrofe del bordo. A intervalos se dejan en las depresiones compuertas de tierra para evitar el flujo del agua. Las excavaciones de los pasos a lo largo de los linderos de las praderas forman eficaces barreras contra incendio que ayudan a controlar los incendios de las marismas.

Se construyen puentes o alcantarillas en donde quiera que los pasos para el ganado cruzan los desagües naturales, y se mantiene al mínimo la interferencia con las condiciones naturales del agua, alternando las excavaciones o dejando las compuertas en las excavaciones limítrofes e instalando puentes. El desarrollo de la pradera no se altera de modo considerable con los pasos debidamente construidos.

Los pasos bien hechos se construyen por lo menos a dos pies de altura sobre el promedio de nivel de las mareas altas y deben tener cuando menos 10 pies de ancho. Ordinariamente se comunican con los promontorios ya existentes, los bordes de los canales u otra clase de represas. El ganado pastará aproximadamente a un cuarto de milla de un bordo cuando hay agua en la marisma, y por lo tanto, los pasos se espacían aproximadamente a media milla de distancia.

Las compañías que explotan petróleo construyen muchos caminos en las praderas de marismas para dar acceso a los pozos. Los rancheros que conocen el valor de los pasos solicitan de esas empresas que alternen las excavaciones de préstamo o que las tapen a lo largo de los caminos construidos en sus propiedades, y de ese modo esos cambios sirven perfectamente como pasos.

Los pasos del ganado parecen mejorar las condiciones de habitación de la fauna. Las excavaciones crean áreas de agua abierta que se utilizan por ciertos tipos de aves acuáticas y proporcionan un promedio de 2.5 acres de agua abierta por cada milla de pastos. Los patos moteados anidan a lo largo de las excavaciones de los pasos en áreas de pradera en las que se suspende el pastado durante los meses de verano, y se han visto visones y nutrias a lo largo de los bordos. Cuando

los pasos se construyen en tierras de pradera que producen ratas almizcladas, los terratenientes tienen la creencia de que el ganado causa menos daños que de ordinario en los montículos de las ratas. A menudo las terneras tiernas duermen en esos montículos, pero prefieren los pasos más firmes y accesibles cuando los hay.

Los pasos para el ganado construidos en las praderas de marismas de Louisiana entre el 1º de enero de 1950 y el 1º de enero de 1955, tienen un total de 60 millas y se construyeron por medio de dragas guiadas con cables que funcionaban sobre colchones. El promedio de costo ha sido de 1,300 dólares por milla, sin incluir la construcción de puentes. La disminución de las muertes del ganado y la mejoría en la producción de terneras tiernas en las praderas que cuentan con pasos, hacen que esa práctica sea muy popular entre los rancheros.

LOS CERCADOS HAN AUMENTADO en las praderas de marismas. Controlan el movimiento del ganado, prolongan la utilización de las praderas y permiten obtener ganado mejor.

Dos ganaderos vecinos de Cameron Parish, Louisiana, construyen en sociedad un paso de doble ancho a lo largo de sus linderos, con buen cercado en medio. El amplio paso tiene excavaciones alternadas, así que cada propietario aprovecha totalmente su pradera. El cercado les permite controlar la cantidad de ganado y su estación de aprovechamiento así como el empleo de otras buenas prácticas de manejo.

Otros rancheros han cercado en cruz sus praderas, a fin de practicar la rotación de pastos. El beneficio más importante de los cercados consiste en la mejoría de la vegetación de las praderas porque pueden controlarse las cantidades de ganado y pueden dejarse descansar unos pastos mientras se consumen otros.

En muchas praderas se necesitan facilidades para abrevar el ganado. El agua de los arroyos, estanques y excavaciones, a menudo se vuelve demasiado salada en verano para que la beba el ganado, y el agua de los pozos es más confiable para este fin. A veces tienen éxito los profundos estanques hechos en los promontorios en aquellos sitios en que las condiciones de la tierra permiten su construcción. La disponibilidad de agua dulce en las excavaciones de préstamo a lo largo de los pasos, ayuda a evitar que el ganado haga un consumo excesivo en las áreas que se encuentran alrededor de las áreas permanentes de agua durante los meses de primavera. Sin embargo, el agua de las excavaciones de préstamo puede no ser apropiada para el consumo de los animales durante largos periodos de sequía.

Los incendios han sido práctica muy extendida en las áreas de marismas. Los ganaderos y cazadores con lazo queman la espesa cobertura de vegetación madura de marisma para estimular el nuevo crecimiento, suculento tanto para el ganado como para la fauna, y aumentar la disponibilidad de forrajes. La vegetación se daña gravemente con los incendios hechos en periodos de sequía, cuando el fuego puede llegar a las coronas y raíces de las plantas.

El pastado uniforme, las excavaciones de los pasos y los canales, son todos de utilidad para controlar los incendios imprevistos o accidentales.

Los ganaderos tratan de incendiar la misma área sólo en años alternados, cuando la superficie del suelo está cubierta de agua. Hay gran necesidad de mayores investigaciones sobre los efectos de los incendios en las especies individuales de plantas, valor y volumen de forrajes.

LA INVASIÓN DE LAS AGUAS saladas del Golfo en las áreas de marismas a través de los ríos, arroyos y desagües, así como en los canales de transportación, ocurre periódicamente en muchas áreas. Una marisma que se clasifica como de pradera salada puede dañarse grandemente con las aguas que tengan fuertes concentraciones de sal. En los periodos de sequía, cuando el movimiento de agua dulce hacia el Golfo disminuye seriamente, el agua salada fluye a veces hacia arriba en los desagües y canales. Los fuertes vientos del Sur arrastran el agua salada hasta la tierra a distancias considerables, haciendo que se extienda en las áreas de

praderas de marismas a lo largo de los desagües. A veces el agua salada llena los lagos de agua dulce durante los periodos de las mareas causadas por los vientos, y cuando bajan los niveles en ellos. A medida que el agua se evapora, se vuelven mayores las concentraciones de sal, dañando las tierras y la vegetación y destruyendo varias especies de fauna acuática.

La tierra que se satura con agua dulce antes de la invasión del agua salada generalmente no sufre daños. La tierra pesada que está seca cuando llega el agua salada, absorbe cantidades considerables de sal cuando se retira. Esa sal destruye las plantas menos tolerantes a ella, y hace que las tierras minerales y orgánicas de contextura fina se vuelvan pastosas. La productividad de esas áreas disminuye grandemente, pudiendo ser peligrosas para el ganado.

El problema se ha solucionado en unos cuantos casos mediante la construcción de compuertas en los desagües para evitar el influjo del agua salada. Las compuertas se cierran durante los periodos de sequía cuando hay peligro de invasión del agua salada, y se dejan abiertas durante las estaciones favorables para permitir los movimientos naturales del agua. Es necesario incrementar el uso de compuertas para proteger las áreas de pradera contra las invasiones de las aguas saladas.

Se ha practicado en pequeña escala la siembra de plantas tolerantes a la sal en áreas saladas. Se plantó con éxito esparto liso en un área salada al sur de Grand Chenier, Louisiana. Si el salado de una área ocurre gradualmente durante cierto número de años, los cambios en las plantas pueden ocurrir naturalmente.

Se necesitan estudios adicionales para determinar los peligros de las invasiones de agua salada en las tierras, vegetación y fauna en toda el área de marismas. El problema se vuelve más crítico a medida que el dragado de canales para la navegación y la construcción de carreteras, canales y empresas industriales, causa disturbios en las comunidades de las marismas.

En la mayoría de las praderas de marismas se necesitan alimentos suplementarios o pastos mejorados para proporcionar un suministro de forraje adecuado durante todo el año. Las marismas de paja fina producen poco forraje verde durante el tiempo frío. Los forrajes que quedan después de la estación de crecimiento se marchitan rápidamente y pronto se vuelven inapropiados para su consumo por el ganado, y a menos que el tiempo caliente produzca un nuevo crecimiento, debe llevarse el ganado a pasturas de invierno en las tierras altas o alimentarse con heno y concentrados en las praderas. Con frecuencia se demora la alimentación suplementaria hasta que el ganado ha perdido gran cantidad de peso.

En sitios donde la cizaña gigante y la caña común forman un porcentaje considerable de la vegetación de marismas dulces, la calidad del forraje se sostiene mejor ordinariamente durante el invierno, pero es aconsejable cierta alimentación en los periodos críticos. Debe suministrarse un suplemento mineral equilibrado en las marismas dulces durante todo el año.

Las praderas de marismas saladas mantienen bien los pesos del ganado durante los meses de invierno, excepto durante sequías prolongadas, tormentas violentas o clima muy frío. Los mosquitos fuerzan el movimiento del ganado de una gran parte de las praderas de marismas saladas en verano. El periodo normal de pastado en ellas es de mediados de octubre hasta mediados de abril, y la mayoría de ese pastado se obtiene de las praderas de marismas dulces y de los pastos mejorados de los promontorios. Algunas grandes manadas se llevan al área de praderas al norte de las marismas para que pasten en las praderas mejoradas o en los arrozales ociosos. Algunas excelentes operaciones ganaderas se basan en la utilización de praderas de marismas durante 6 meses en invierno y durante los 6 meses de la estación caliente en las praderas de pinos de hoja larga. Los animales se llevan caminando, a veces hasta distancias de 70 millas, o se envían por camión entre las áreas de pradera en octubre y abril de cada año.

A veces los pequeños campos se circundan con represas de protección, y el agua sobrante se bombea hacia afuera, utilizándose para producción de heno y pasturas para obtener forrajes adicionales durante periodos críticos. Pueden ser parte importante de una operación general de ganado en las marismas.

El empleo de pastos mejorados sencillos en combinación con el pastado de las praderas de marismas ha ido en aumento. En invierno los pastos sencillos se componen de avena, hierba de centeno, festuca y tréboles. Las plantas sencillas de pastura en verano son la hierba Bermuda, hierba Dallis, páspalo largo, hierba Rhodes y lespedeza. El heno se obtiene de pastos mejorados durante periodos de máximo crecimiento. El trébol Alsike y la lespedeza son las dos leguminosas usadas más comúnmente para producción de heno. Algunos ganaderos utilizan los panes de semilla de algodón, la harina y los cubos de pradera. La mayor utilización de alimentos y concentrados en las praderas durante periodos críticos, indudablemente aumentaría la producción total.

SE ESTÁ PRACTICANDO EL CONTROL de la vegetación indeseable en unas cuantas localidades de las áreas de marismas y en los promontorios. Se emplea la aspersión desde aeroplanos con substancias químicas para controlar el cascabel y la sesbania, dos hierbas leguminosas. Los ganaderos han hecho aspersiones en casi 10,000 acres de marismas desde 1952

Análisis de varias plantas de forraje de las praderas de marismas

Planta	*Etapa de crecimiento*	*Porcentaje de proteínas crudas*	*Porcentaje de fósforo*	*Porcentaje de calcio*
Paja fina	tierna	18.31	0.21	0.19
(Panicum hemitomon)	floración	16.75	.19	.60
	madura	——	—	—
	reposo	9.42	.08	.18
Cizaña gigante	tierna	15.50	.18	.58
(Zizanopsis miliacea)	floración	13.94	.17	.75
	madura	12.00	.16	.78
	reposo	6.00	.08	.48
Caña común	tierna	17.16	.22	.21
(Phragmites communis)	floración	13.86	.15	.37
	madura	——	—	.16
	reposo	11.31	.09	.34
Páspalo largo	tierna	13.11	.23	.57
(Paspalum lividum)	floración	10.25	.17	—
	madura	——	—	.50
	reposo	6.50	.12	.17
Esparto de marisma	tierna	12.74	.17	.22
(Spartina patens)	floración	7.50	.10	.20
	madura	5.42	.10	—
	reposo	——	—	.18
Esparto grueso	tierna	12.33	.22	.49
(Spartina cynosuroides)	floración	6.16	.15	.60
	madura	6.56	.12	.27
	reposo	5.19	.09	.35
Esparto liso	tierna	11.09	.20	.53
(Spartina alterniflora)	floración	7.81	.17	.74
	madura	9.50	.17	—
	reposo	——	—	

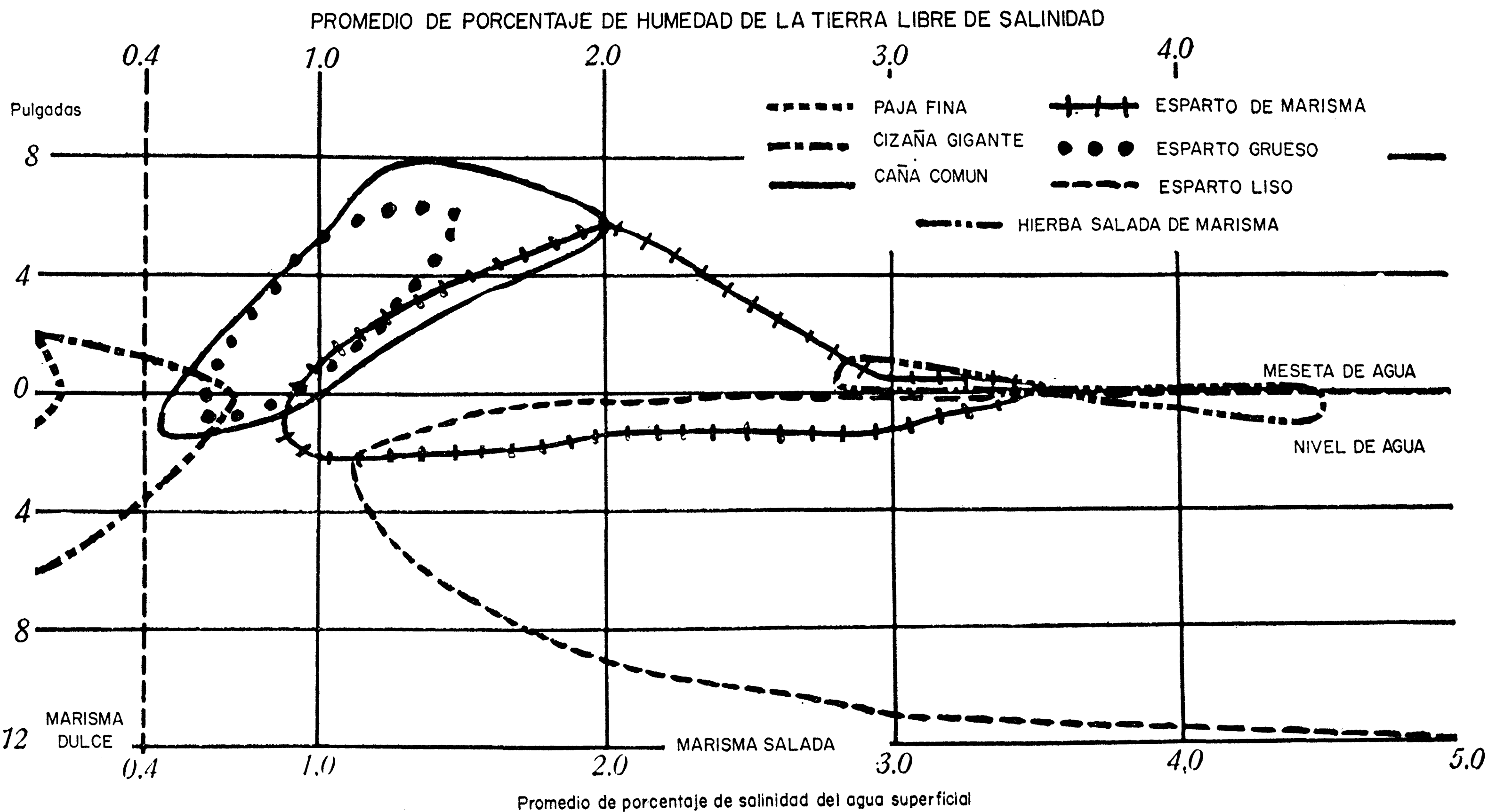
Los análisis se hicieron por el Laboratorio Regional de Operaciones del Servicio de Conservación de Tierras, Fort Worth, Texas, en 1950. Las muestras se recolectaron mensualmente durante el año de 1950.

para el control de las hierbas con un costo total aproximado de 2 dólares por acre. Se están empleando segadoras comunes y trituradoras para controlar las hierbas anuales, la pequeña maleza y las hierbas grandes en los promontorios. El manejo que favorece las mejores plantas de forraje es el mejor método general para el control de las hierbas.

EL DESARROLLO Y MEJORAMIENTO de las praderas costeras de marismas depende de la conservación de la tierra natural y de las condiciones de agua y del incremento de las mejores plantas de forraje por medio del manejo del ganado. A medida que los ganaderos de las marismas apliquen estos principios de manejo, aumentará la productividad de sus praderas. Los biólogos y terratenientes que se interesan tanto en el ganado como en la fauna, están generalmente de acuerdo en que las prácticas de manejo que mantienen las buenas condiciones de las praderas o mejoran sus deficiencias o son beneficiosas tanto para la fauna de pelo como para el ganado. El área de praderas marismas es pequeña en superficie total si se compara con las áreas de praderas del Oeste; pero es parte importante de la economía de los habitantes de la localidad, de los estados y de la nación. Puede aumentarse grandemente la producción de las praderas de marismas si se mejoran y desarrollan en forma adecuada.

ROBERT E. WILLIAMS *es conservador de praderas del Servicio de Conservación de Tierras con oficinas en Crowley, Louisiana. Su territorio incluye las marismas de la costa del Golfo, praderas costeras y planicies costeras forestales del este de Texas y sur de Louisiana. Se graduó en la Universidad de Louisiana.*

Robert E. Williams.



EXTENSION APROXIMADA DE LA DOMINACION DE LAS ESPECIES EN RELACION CON EL AGUA Y LA SALINIDAD
PROMEDIO DE PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA TIERRA LIBRE DE SALINIDAD
0.4
1.0
2.0
3.0
4.0
Pulgadas
8
4
0
4
8
12
PAJA FINA
CIZAÑA GIGANTE
CAÑA COMUN
ESPARTO DE MARISMA
ESPARTO GRUESO
ESPARTO LISO
HIERBA SALADA DE MARISMA
MESETA DE AGUA
NIVEL DE AGUA
MARISMA DULCE
MARISMA SALADA
0.4
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
Promedio de porcentaje de salinidad del agua superficial

Jardines, céspedes y huertos



El uso apropiado del agua en los jardines domésticos

Victor R. Boswell y Marlowe D. Thorne

LOS JARDINEROS AFICIONADOS y domésticos de las llamadas zonas húmedas de los Estados Unidos de Norteamérica generalmente no se dan cuenta de que a menudo los riegos apropiados pueden ser productivos, o que en la mayoría de los distritos hay una necesidad bien definida de hacer algunos riegos casi todos los años. Sin embargo, en las regiones secas del Oeste los jardineros aficionados generalmente comprenden tan bien los requerimientos y prácticas de riego como las demás operaciones esenciales de la jardinería, tales como el arado o rastreado, la siembra y el cultivo.

Casi todos los vegetales necesitan cantidades de agua relativamente grandes para que su producción sea costeable, y es casi seguro que en todas las regiones del país habrá ciertos periodos en cada estación de crecimiento en los que las lluvias no sean suficientes para producir los mejores resultados.

La frecuencia y duración de los periodos de sequía y el incremento neto del valor de la cosecha que puede obtenerse por medio de los riegos durante esos periodos, determinan la conveniencia de regar las legumbres. A falta de lluvias suficientes, los riegos no sólo ayudan a las cosechas en estado de crecimiento, sino que permiten una preparación más completa y oportuna de la tierra y de la siembra. Ayudan también a lograr un rápido brote de los retoños y al establecimiento de buenos plantíos. Los riegos ayudan indirectamente al cultivo en toda la estación, y a veces es muy difícil la recolección de cosechas de raíces y tubérculos si no hay riegos que dejen la tierra en buenas condiciones de trabajo.

Los riegos requieren grandes cantidades de agua. Si se le compara con la utilización doméstica ordinaria, el riego de un gran jardín doméstico o de un jardín de granja puede requerir cantidades de agua que parezcan enormes. El jardinero doméstico que se propone hacer riesgos utilizando el pozo de la casa o del granero o aprovechando el suministro público, debe cerciorarse primeramente de que habrá agua suficiente a un costo razonable.

Como ejemplo, consideremos un jardín de 60 por 70 pies, o sea aproximadamente un décimo de acre. Supongamos que ese jardín está en un distrito que normalmente depende de las lluvias, pero que de todas maneras necesita agua adicional de tiempo en tiempo durante el verano y principios del otoño, o sea riegos apropiados durante la media docena de cortos periodos de sequía. Bajo condiciones normales puede considerarse el equivalente de una pulgada de lluvia como cantidad adecuada para una sola aplicación, lo que significa aproximadamente 2,700 galones de agua en cada

una de ellas. El costo puede no ser prohibitivo en vista de los resultados que pueden obtenerse, pero esa cantidad de agua puede no estar disponible en una sola vez.

LA CALIDAD DEL AGUA es muy importante para los riegos de cosechas de legumbres. El contenido de sales solubles del agua de riego debe ser relativamente bajo para algunas cosechas, a fin de obtener rendimientos satisfactorios. El Laboratorio Regional de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica cita como altamente tolerantes a la sal: el betabel, col rizada, espárragos y espinacas, y como muy susceptibles a ella: el rábano, apio y judías verdes. Otras cosechas de legumbres se clasifican como intermedias entre esos dos grupos extremos, y las cosechas de vides se acercan más bien al grupo de escasa tolerancia.

El agua que se aplique a las legumbres que se consumen en crudo debe estar exenta de microorganismos asociados con las enfermedades del hombre o de los animales, con los albañales o con la descomposición de alimentos o de otras materias orgánicas. Este requisito podría impedir que se usara el agua de pozos contaminados o de ciertos arroyos en algunas legumbres, aunque pueda ser adecuada para el riego de muchas otras cosechas.

LA CANTIDAD DE AGUA REQUERIDA durante una estación depende de la diferencia entre la utilización de agua de una cosecha determinada y la lluvia real que haya caído. Por ejemplo, 5 pulgadas de agua mensuales pueden ser mucho menos eficaces si caen en una sola lluvia de 5 pulgadas que si caen en 5 lluvias distintas de una pulgada cada una. En consecuencia, debe considerarse tanto la intensidad de las lluvias como su distribución y la cantidad total durante la estación, para determinar la cantidad de agua de riego que pueda necesitarse.

El promedio diario de agua empleado por las cosechas de legumbres varía de 0.10 a 0.20 de pulgada, aunque se tienen informes de consumos máximos hasta de 0.32 de pulgada diarios. En consecuencia, puede esperarse que los requerimientos de agua de las legumbres varían desde un mínimo aproximado de 3 pulgadas hasta un máximo de 9 pulgadas al mes, dependiendo de la cosecha y de sus condiciones de crecimento. Se tienen informes de que las papas, tomates, judías y maíz dulce tienen mayores requerimientos de humedad que muchas otras cosechas de legumbres.

Es muy difícil dar cifras precisas de las cantidades totales de agua de riego que se necesitan para cultivar diversas legumbres desde la siembra hasta la madurez, porque hay muchos factores que las afectan, aparte de la clase de planta. Las cantidades de agua procedentes de las nieves o de las lluvias que ya se encuentran en la tierra en la época de la siembra, la cantidad de lluvia que penetra al subsuelo durante el crecimiento de la cosecha, la capacidad de almacenamiento de agua de la tierra y aun la fertilidad o capacidad de producción de cosechas de ella, influencian la cantidad de agua que haya necesidad de añadir para obtener los mejores resultados. Al mismo tiempo es posible indicar las cantidades relativas de agua que requieren generalmente varias cosechas de jardín.

La Estación Agrícola Experimental de California ha calculado las cantidades de agua de riego que se necesitan para diferentes legumbres en una región de lluvias muy escasas, en la que la mayor parte de los suministros de agua tiene que proceder de los riegos. Esos cálculos, que suponen que la zona de raíces de la tierra esté bien dotada de agua al tiempo de la siembra, pueden resumirse como sigue:

Lechuga de invierno y chícharo, 6 pulgadas de agua; espinaca, 9 pulgadas; col, coliflor, plantíos de primavera de judías de arbusto y habas, 12 pulgadas; cebollas (excepto las de cosecha tardía), judías de espaldera, pepinos y sandías, 15 pulgadas; lechuga de verano y otoño, maíz dulce, judías de arbusto (siembra de verano), betabeles, zanahorias (excepto en el Valle Imperial), berenjenas, chícharos (incluyendo la siembra de invierno en el Valle Imperial), pimientos, calabaza, melón almizclado (excepto en el Valle

Imperial) y batatas, 18 pulgadas; papas, de 20 a 30 pulgadas, dependiendo de la estación del año; espárragos, 20 pulgadas; cebollas tardías, zanahorias y melones almizclados en el Valle Imperial, así como tomates (a excepción de las áreas costeras frías), 24 pulgadas, y apio, 30 pulgadas.

Naturalmente el periodo de tiempo que una cosecha permanece en la tierra es uno de los factores principales que puede determinar la cantidad total de agua que se necesite. Si se cultiva una sucesión de cosechas de estaciones cortas con escasos requerimientos de agua, las necesidades totales de la estación pueden ser tan considerables como las de una cosecha sola que tenga una estación prolongada. Las regiones que reciben una cantidad apreciable de lluvias pueden necesitar cantidades mucho menores de las mencionadas en forma de agua de riego.

En los pequeños jardines domésticos en donde se cultivan estrechamente muchas legumbres diferentes, generalmente es impracticable la aplicación de cantidades de agua diferentes y específicas a cada clase de cosecha. Pueden obtenerse buenos resultados con los riegos aplicando un buen promedio de agua basándose en las condiciones de la tierra (la cantidad de agua que retendrá la zona de raíces) y el clima. Naturalmente, las plantas necesitarán menos agua cuando son pequeñas y el tiempo es frío y húmedo, que cuando han crecido o cuando el clima es caliente y seco. No hay nada que substituya a la experiencia para desarrollar un buen criterio, a fin de saber cuánta agua hay que aplicar y cuándo, en cualquier combinación determinada de condiciones. Sin embargo, hay algunas reglas generales que ayudarán al jardinero a solucionar sus propios problemas.

LAS PROPIEDADES DE LA TIERRA afectan las prácticas de riego en forma considerable. Es importante tener ciertos conocimientos de las relaciones de las diferentes clases de tierra y de las cantidades de agua que retendrán. La clase de tierra determina en gran parte cuánta agua hay que aplicar y qué tan a menudo. Mientras más gruesas sean las partículas de que se compone una tierra, ésta retendrá menos agua en la mayoría de las condiciones de campo. Las tierras arenosas sólo retienen aproximadamente el equivalente de un cuarto de pulgada de lluvia o de agua de riego por pie de profundidad. Las margas arenosas retienen comúnmente alrededor de tres cuartos de pulgada por pie. Las margas finas arenosas, aproximadamente 1.25 pulgadas. Las margas cenagosas y arcillosas y las arcillas, aproximadamente de 2.5 a 3 pulgadas. Estas cifras aproximadas difieren considerablemente en las diversas tierras, de acuerdo con la cantidad y condiciones de la materia orgánica que se encuentre presente en ellas. Las grandes cantidades de materia orgánica pueden aumentar la capacidad de retención de agua de las tierras y margas arenosas, facilitando la saturación de agua en las tierras más pesadas, tales como margas, margas de sedimento y arcillas.

Es necesario saber también lo que hay bajo la profundidad de arado o rastreado de la tierra. Habrá que modificar los métodos generales de riego de un jardín normal si las condiciones del subsuelo no son las normales.

Algunas tierras superficiales que parecen excelentes en la superficie tienen una capa dura y apretada a unas cuantas pulgadas bajo la profundidad de arado, lo que las hace muy difíciles de penetrar por las raíces y el agua. Por consiguiente, esa capa produce una zona superficial para el desarrollo de las raíces, de la cual tienen que absorber el agua y los elementos nutritivos, pudiendo impedirse el desarrollo de las raíces. Las escasas cantidades de agua que pueden retenerse en esa capa superficial se agotan pronto en tiempo de sequía y las plantas sufren muy rápidamente la escasez de agua después de una lluvia o riego. La roca próxima a la superficie de la tierra es más desfavorable aún a este respecto. En esas condiciones el agua debe suministrarse con frecuencia en cantidades moderadas o pequeñas. Los riegos abundantes pueden ahogar virtualmente las plantas al llenar con exceso los poros de la tierra, impidiendo la ventilación adecuada de la zona de raíces.

En contraste con la existencia de capas duras o de roca cerca de la superficie, otras tierras superficiales tienen depósitos muy profundos y abiertos de tierra o grava. Las raíces pueden penetrar fácilmente en esas capas gruesas, pero pueden obtener muy poca agua. Las cosechas de las tierras que tienen subsuelos tan abiertos que puedan contener poca agua, sufren rápidamente por falta de ella, al igual que las que se encuentran sobre una capa apretada cerca de la superficie. Por lo tanto, los riegos tienen que ser también ligeros y frecuentes. El abundante riego de esas tierras no solo desperdicia el agua, sino que deslíe algunos de los elementos nutritivos de las plantas hacia abajo, llevándolos a niveles en donde las raíces no puedan alcanzarlos.

LAS TIERRAS FÉRTILES RESPONDEN mejor a los riegos. El riego es una de las mejores formas de asegurar el éxito que puede obtener el jardinero; pero esos riegos sólo suministran el agua y no compensan las deficiencias de materia orgánica, substancias minerales nutritivas, represión de hierbas, adaptabilidades de las variedades u otras características esenciales de un buen huerto. De hecho, el que los riegos sean costeables en situaciones extremas, puede depender más bien de los factores ya mencionados que de los suministros normales de agua en forma de nieve o lluvia. En cualquier situación los riegos cuestan tiempo y dinero. No hay razón para suministrar agua a aquellas cosechas que no pueden utilizarla en forma productiva debido a la mala calidad de la tierra o al mal manejo.

Algunos experimentos efectuados en el sudeste de los Estados Unidos de Norteamérica demuestran que los riegos en sí son mucho más provechosos en tierras bien dotadas de fertilizantes y de materia orgánica procedente de estiércoles o abonos verdes que en tierras que no cuentan con esos elementos. Las plantas necesitan agua en abundancia para aprovechar los elementos nutritivos que se encuentran presentes. Cuando hay riegos suficientes, a menudo pueden aumentarse en forma provechosa las proporciones de fertilización y abono sobre aquellas que se consideran como óptimas sin riegos.

COMÚNMENTE SE EMPLEAN tres métodos de riego en los huertos domésticos: El de surcos, el de rociadores y el de mangueras porosas o perforadas. Generalmente las condiciones existentes en la granja normal o huerto doméstico son desfavorables para el empleo de inundaciones, aunque a veces se practica este método. En localidades donde son factibles los riegos del subsuelo, como ocurre en ciertos depósitos de tierra vegetal o en arenas que cubren una capa nivelada e impermeable del subsuelo, puede usarse ese método. Mientras más superficial sea la profundidad de las raíces de las cosechas de legumbres y mientras menos agua pueda retener la tierra, deberán ser más frecuentes las aplicaciones que haya que hacer, y serán mayores las ventajas de los riegos con rociadores o con mangueras porosas, en contraste con el método de surcos. Deben usarse los métodos de rociadores o mangueras porosas en tierras que tengan contornos que no sean adecuados para riegos superficiales.

En las aplicaciones anteriores a la siembra para ayudar a la germinación y al brote de los retoños, el riego de surcos ofrece ventajas en las tierras pesadas o que tienden a formar corteza. La acción de golpeo de las gruesas gotas de agua de un rociador puede aumentar la tendencia de una tierra a formar corteza al secarse. Sin embargo, ese método puede ser el más deseable si pueden hacerse aplicaciones ligeras y repetidas con rociadores finos para conservar húmeda la superficie de la tierra durante el periodo de brotes. Debe tenerse en cuenta el costo del equipo y de su funcionamiento, a fin de determinar el método de aplicación más satisfactorio.

Los sistemas de rociadores fijos son más convenientes en su empleo y se han popularizado desde hace largo tiempo; pero son relativamente más costosos que los portátiles por unidad de superficie de tierra regada. Los sistemas de rociadores fijos pueden quedar en su sitio durante toda una estación o aun durante muchos años. Las tuberías rectas montadas en la parte superior de postes con toberas ade-

cuadas colocadas a una distancia aproximada de 18 pulgadas, producen una "lluvia" fina con un mínimo de consolidación o de salpicadura en la tierra, o de violencia física a las plantas delicadas. El agua para este tipo de rociadores debe estar bien limpia, a fin de evitar que se obstruyan las toberas con partículas de cualquier clase. A veces se usan rociadores giratorios montados en secciones verticales de tubo que se conectan a las tuberías subterráneas, pero dan una distribución de agua menos uniforme que las tuberías con toberas a intervalos cortos. Las instalaciones fijas con válvulas e implementos de control del agua en sus extremos disminuyen la necesidad de andar sobre tierra mojada o de causar disturbios a las plantas húmedas, como acontece al mover los rociadores portátiles.

Se recomiendan los rociadores portátiles cuando el costo del equipo tiene que ser moderado y cuando el moverlos no constituye un serio problema. Pueden ser del tipo giratorio, o a distancias cortas puede emplearse la tubería dotada de toberas que se han descrito antes y que puede moverse de una fila de postes a otra. Hay disponibles conexiones de acoplamiento rápido para facilitar el movimiento de las líneas de rociadores de este tipo.

Hay varios tipos de rociadores giratorios para líneas de suministro tanto fijas como portátiles. La elección del modelo de rociador dependerá del área que vaya a regarse, de la presión y volumen de agua disponible y de la forma en que se suministre el agua a los rociadores. Pueden usarse también los rociadores ordinarios pequeños y portátiles de tipo de fuente; pero son los que dan resultados menos satisfactorios entre todos los diversos modelos ya descritos, a excepción de huertos muy pequeños. Los rociadores de jardín de tipo de fuente cubren un pequeño radio y necesitan moverse con frecuencia.

Las aplicaciones superficiales por medio de surcos o mangueras perforadas o porosas tienen ciertas ventajas. Muchas cosechas de legumbres son susceptibles a cierto número de enfermedades del follaje, que se agravan si las hojas se humedecen excesivamente. Por lo tanto, a menudo es más conveniente un método de riego que deje secas las hojas. En los grandes huertos y campos comerciales las hojas pueden conservarse secas mediante riegos superficiales con surcos o, con menos frecuencia, con inundaciones entre bordos. El riego de surcos tiene también sus ventajas en huertos pequeños. Tanto en superficies grandes como pequeñas, los métodos de surcos y de bordos sólo son prácticos cuando los contornos son apropiados y la tierra no es tan arenosa que causa un desperdicio de agua.

Para obtener la máxima eficiencia con el riego de surcos, la tierra debe tener suficiente capacidad de retención de agua para permitir que se humedezca debidamente a lo largo de todo el surco sin que ocurra una saturación excesiva en los extremos donde se recibe el agua. Cuando el declive es satisfactorio, la aplicación en surcos es más conveniente en tierras pesadas que si se emplean grandes rociadores giratorios, porque la aplicación del agua en surcos causa menos consolidación y deja menos corteza en la superficie de la tierra. Además, si la penetración del agua es muy lenta, ésta puede aplicarse por medio de los surcos precisamente donde se necesita, haciendo que corra tan lentamente como se requiera para permitir que humedezca uniformemente la tierra sin deslavarla y sin desperdiciarse.

En los pequeños huertos que no son adecuados para los riegos comunes de surco, pueden usarse mangueras de lona porosa o mangueras perforadas de diversos materiales para distribuir el agua en forma relativamente uniforme a lo largo de las hileras de plantas.

Si el agua se aplica con rapidez a un surco por medio de una manguera de jardín o tubería pequeña, puede evitarse en gran parte el movimiento de la tierra amarrando un trozo de arpillera, o cualquiera otra tela burda, sobre el orificio de salida, a fin de formar un gran saco del que correrá el agua.

LA FRECUENCIA Y PROPORCIÓN de riego de las legumbres requieren un crite-

rio cuidadoso, al igual que para las demás cosechas. La mayor parte de las legumbres son superficiales o moderadas en su penetración de raíces y, por lo tanto, el suministro de humedad de la tierra a las mismas es limitado. Esos factores, el alto valor de las cosechas y la importancia del tiempo de la recolección, tienden a hacer que el manejo del agua en los huertos deba ser más preciso que en la mayoría de las cosechas.

La mayor parte de las legumbres producen muy pocas raíces con profundidad mayor de 30 a 36 pulgadas. Muchas de ellas, incluyendo el apio, lechuga, cebollas, rábanos, espinacas y chícharos, producen muy pocas raíces con profundidad mayor de 24 pulgadas. Por lo tanto, en este último grupo que crezca en una tierra que tenga una capacidad de retención de humedad disponible de una pulgada por pie hasta una profundidad de 2 pies o mayor, debe haber un máximo de 2 pulgadas de humedad disponible para las plantas. Si la proporción normal de utilización fuera de 0.2 de pulgada diario, se necesitarían riegos por lo menos cada 9 días, a menos que ocurrieran lluvias equivalentes. Es conveniente no aproximarse demasiado al agotamiento total del agua disponible, a fin de evitar que cualquier error de cálculo o circunstancia imprevista puedan causar daños a la cosecha. Durante el principio de la estación la profundidad de las raíces será menor y se necesitarán aplicaciones más frecuentes, aunque con menores cantidades de agua, a menos que la proporción de utilización sea correspondientemente menor.

Muchos de los agricultores que utilizan riegos están usando aparatos electrónicos y de otras clases para averiguar el contenido de humedad de la tierra a diferentes niveles, y sus diferentes posiciones en los campos. Estos refinamientos no se justifican desde un punto de vista económico en los huertos domésticos, ya que los errores moderados de criterio no pueden ser muy costosos. El jardinero puede aprender, por medio de sencillas observaciones y de la experiencia, cuándo se necesita el agua y qué cantidad hay que aplicar. Una tierra demasiado húmeda formará un terrón apretado cuando se oprime con la mano y no se desmoronará cuando se trate de hacerlo. Una tierra muy seca no se adherirá al apretarla, sino que sus partículas se escurrirán entre los dedos como grava seca, arena o harina, dependiendo de la contextura de la misma. Si la tierra está apelmazada, deben desbaratarse completamente los terrones antes de sujetarla a esta prueba para determinar su humedad. En la mayoría de las legumbres, los riegos deben aplicarse probablemente cuando la tierra de la zona de raíces esté ligeramente seca para que pueda adherirse cuando se la aprieta con la mano.

UN ERROR MUY COMÚN CONSISTE en hacer ligeros riegos superficiales de la tierra con una manguera de jardín más o menos diariamente durante los periodos de sequía, creyendo que son de utilidad. Los que siguen esta práctica probablemente nunca han cavado la tierra a la profundidad suficiente para cerciorarse de si está húmeda o no. En tierras pesadas que se han pisado, se necesita más tiempo para que penetre en ellas una pulgada de agua. El agua que corre de la superficie de la tierra bajo un rociador, no significa que ésta haya quedado suficientemente humedecida, sino solamente que el agua no penetra tan rápidamente como se aplica. Una superficie bien cultivada ayuda a la penetración del agua. Sin embargo, es más importante en tierras pesadas el incremento de la materia orgánica, a fin de mejorar la penetración del agua y evitar, hasta donde sea posible, su consolidación.

Con los riegos puede mejorarse tanto la calidad de la cosecha como su rendimiento. Los que aplican riegos deben tratar de evitar que la zona de raíces quede demasiado seca o excesivamente húmeda en cualquier ocasión. Un contenido moderado y uniforme de humedad es mejor en todo tiempo, con la posible excepción de cuando se acerca la época de la recolección de cosechas de legumbres de semilla, cuando es conveniente dejar que la tierra quede relativamente seca.

Las extensas fluctuaciones de la humedad de la tierra son especialmente perjudiciales en ciertas etapas críticas del cre-

cimiento de las plantas, tales como la época de la floración, de la producción de frutos y de la madurez de los frutos carnosos, tales como tomates y melones. Las fluctuaciones extremas pueden aumentar la caída de las flores en casi cualquier cosecha de legumbres durante la etapa de fructificación, y puede causar la podre de los extremos florales del tomate. Un rápido aumento en la humedad de la tierra durante la maduración de los tomates aumenta a menudo en forma grave la formación de hendiduras en los frutos. El exceso de humedad durante la maduración de los melones almizclados tiende a disminuir su calidad y puede hacer que se abran algunos de ellos. La elevada humedad después de una escasez de ella tiende también a aumentar el "segundo crecimiento" indeseable de las papas, haciendo que se produzcan también hendiduras en las batatas y en las cosechas de raíces. La saturación de la tierra, aun durante cortos periodos, puede destruir muchas clases de plantas, especialmente en tiempo caliente. Se obtienen los mejores rendimientos y se mejora la calidad de la cosecha cuando se evitan los extremos, tanto de humedad como de sequía, en la tierra.

Víctor R. Boswell.

VÍCTOR R. BOSWELL *es jefe de la Sección de Cosechas de Legumbres de la Rama de Investigaciones sobre Cosechas Hortícolas del Servicio de Investigaciones Agrícolas, con residencia en la Estación de Industria de Plantas en Beltsville, Maryland.*

MARLOWE D. THORNE *es jefe de proyectos de trabajos de riego de la Sección Oriental de Manejo de Tierras y Aguas de la Rama de Investigaciones sobre Conservación de Tierras y Aguas del Servicio de Investigaciones Agrícolas.*

El riego de los huertos en las regiones áridas

F. J. Veihmeyer y A. H. Hendrickson

NUESTROS 1.6 MILLONES de acres de huertos, viñedos y nogales, comprenden aproximadamente la quinta parte de la superficie total de riego de los 17 estados del Oeste y en varios estados del Este.

La fruta puede cultivarse en algunas regiones sin necesidad de riegos porque puede almacenarse en la tierra agua suficiente de las lluvias de invierno, por lo menos para el principio de la estación de crecimiento.

La necesidad de regar y cuándo haya que hacerlo, se determinan por las propiedades de humedad de la tierra, clase de planta, profundidad de sus raíces, clase del sistema de raíces, clima y la disponibilidad de agua.

Los métodos de riego de los huertos dependen ordinariamente del tamaño de la corriente disponible, topografía, tierra, clima, y de la tendencia general a seguir las prácticas que prevalecen en la localidad.

Con el método de surco, que puede emplearse en muchas condiciones, el declive de la tierra y el tamaño de la corriente empleada deben ser tales que no se cause erosión. Los surcos se espacían lo suficientemente cerca unos de otros, a fin de que las áreas humedecidas se entrelacen y el agua se mantenga en los surcos hasta que haya una penetración uniforme. La longitud del surco se regula de modo que la diferencia de penetración entre el extremo superior e inferior no sea excesiva.

Cuando sólo hay disponibles pequeñas corrientes de agua, son más recomendables los surcos o los rociadores que se discutirán más adelante. Los surcos rectos se adaptan a tierras relativamente planas que pueden conformarse para obtener declives de 0.15%, o menores. A veces se emplean surcos rectos en los declives más pronunciados; pero entonces debe controlarse cuidadosamente la corriente a fin de evitar que ocurra erosión.

Como la corriente disminuye constantemente a medida que el agua se mueve hacia abajo del surco, generalmente se aplica más agua a la tierra cerca del extremo superior que en el inferior y la distribución de humedad puede ser desigual. El tipo de tierra regula la longitud del surco. En tierras arenosas esa longitud es aproximadamente de 300 pies. En

margas o tierras de contextura media se utilizan 600 pies, y en tierras arcillosas se usan a veces surcos más largos.

En ocasiones se riegan los huertos utilizando corrientes de agua muy pequeñas que fluyen a través de una serie de surcos o corrugaciones angostas, estrechamente espaciadas y de poca profundidad, de longitud suficiente para permitir que se entrecruce la filtración horizontal de dos corrugaciones adyacentes. A este procedimiento se le llama método de corrugaciones y puede emplearse con éxito en tierras muy pendientes.

Otro método empleado en tierras pendientes consiste en conformar surcos de contornos que pueden usarse en tierras con declives hasta de 25%. Los declives de los surcos varían de 0.5 a 1.5%, dependiendo del tipo de tierra, y sólo se conforma para rellenar hondonadas y para remover pequeñas irregularidades superficiales.

Puede prepararse la tierra construyendo terrazas conformadas de contorno y surcos en esas terrazas. De ese modo se obtiene un declive adecuado para los surcos. Ese declive puede disminuirse empleando surcos en zigzag o de ida y vuelta. Esos surcos permiten que se humedezca la tierra entre los árboles de una hilera y ordinariamente se conforman a un declive de 0.25%, o menor.

Los retenes rectangulares, ya sea para un árbol aislado o para cuencas de árboles múltiples, se adaptan a tierras que pueden nivelarse hasta 0.2 de pie por cada 100 pies. Puede incluirse más de un árbol en una cuenca, y para un gran número de árboles se usa un retén largo y rectangular. Los retenes de contorno, que se usan extensamente en California, disminuyen la necesidad de conformación de la tierra y probablemente rebajan también los costos de mano de obra.

Las aspersiones pueden emplearse en una gran variedad de condiciones, y sus ventajas para el riego de huertos consisten en que no se necesita nivelación de la tierra y en que pueden utilizarse pequeñas corrientes de agua, pudiendo emplearse en tierras onduladas y pendientes.

La aspersión requiere una elevada inversión de capital y significa altos costos de mantenimiento. Otra desventaja consiste en la limitada cantidad de agua que puede aplicarse ordinariamente en una colocación de las tuberías. La profundidad de aplicación para un tiempo dado, que en los huertos queda limitada generalmente a dos movimientos de las tuberías en 24 horas, se controla por la proporción en que la tierra puede absorber agua y la proporción de descarga de las toberas. Naturalmente, la prolongación del tiempo de colocación significa un aumento en la cantidad de equipo y un incremento de los costos de la tubería y rociadores. La falta de flexibilidad de funcionamiento después que se ha adoptado un diseño original para el sistema constituye otra desventaja. Las ramas bajas de los árboles pueden interferir con el riego de los rociadores y causar una distribución poco uniforme del agua.

EL AGUA SE MUEVE HACIA ABAJO debido más bien a la gravedad que a la capilaridad, que puede no distribuirla de manera uniforme. Sin embargo, un ligero riego sólo moja a capacidad de campo una capa de tierra menos profunda que un riego abundante, ya que las tierras no pueden humedecerse parcialmente.

LAS PÉRDIDAS DE LA HUMEDAD almacenada en la tierra se deben a su extracción por las raíces de las plantas y a la evaporación directa de la superficie de la tierra. En regiones áridas y semiáridas, gran parte de las pérdidas de agua se debe a la transpiración de las plantas. En las tierras en que la meseta de agua no se encuentra cerca de la superficie, el movimiento del agua hacia arriba por capilaridad es extremadamente lento. Después de que se ha secado una capa superficial aproximadamente de 6 pulgadas, la pérdida por evaporación cesa casi por completo. Por lo tanto, es ineficaz el cultivo que remueve la tierra para ahorrar humedad.

El cultivador puede precisar cuándo necesitan agua sus árboles mediante la diaria observación de sus condiciones. Cuando es difícil notar los síntomas de

marchitamiento u otra evidencia de falta de humedad fácilmente disponible, el marchitamiento de las hierbas de hoja ancha que pueden dejarse como indicadores en varios sitios de los huertos indicará la necesidad de agua. Generalmente esas hierbas tienen raíces lo suficientemente profundas para indicar por su marchitamiento la falta de agua fácilmente disponible en la tierra ocupada por las raíces de los árboles.

La profundidad y clase de los sistemas de raíces de los árboles y vides son de gran importancia para determinar las prácticas de riego. Los árboles frutales, con excepción de los cítricos y las vides, se encuentran en la clase de plantas de raíces profundas. En consecuencia, a veces pueden cultivarse en regiones en donde hay muy pocas lluvias durante la estación de crecimiento, pero en las que las condiciones de evaporación son relativamente benignas.

No es cierto, como creen algunos cultivadores, que si se retienen los riegos se fuerza a los árboles a que envíen sus raíces más profundamente dentro de la tierra, ni tampoco que los riegos ligeros tiendan a producir un enraizamiento superficial, o que el riego de un solo lado de los árboles produzca el confinamiento de las raíces a ese lado.

Si las tierras se humedecen sólo a cierta profundidad y si el subsuelo debajo de ella se encuentra en el porcentaje permanente de marchitamiento, las raíces quedarán confinadas dentro del área humedecida; pero no puede hacerse que las plantas que tienen normalmente raíces muy profundas conserven sus raíces en las capas superiores de la tierra, si las que se encuentran a mayores profundidades tienen un suministro de humedad fácilmente disponible y si a esas profundidades no ocurren otras condiciones adversas para su desarrollo.

Si la tierra se humedece a la profundidad total a que normalmente penetrarían las raíces durante la estación de crecimiento, las aplicaciones posteriores de agua durante el verano no tendrán influencia alguna sobre la extensión de la distribución de esas raíces, a menos de que sean lo suficientemente frecuentes para producir condiciones desfavorables para su crecimiento. La presencia de agua en cantidades mayores que su capacidad de campo, condición a la que frecuentemente se le llama saturación, puede dañar las raíces de algunos árboles.

Algunas plantas pueden tener un escaso desarrollo de raíces durante alguna parte de su vida o durante toda ella, y esas raíces no penetran completamente en la tierra. En consecuencia, puede haber grandes masas de tierra sin raíces. El muestreo de la tierra puede no presentar un cuadro verdadero de las condiciones de humedad de la tierra que queda en contacto real con la parte absorbente de las raíces, y entonces puede ser imposible determinar la cantidad de agua disponible que puede almacenarse en la tierra para esas plantas o qué cantidad de agua hay disponible en cualquier periodo de tiempo.

A VECES LAS TIERRAS COMPACTAS o densas interfieren con el desarrollo de las raíces y éstas no penetrarán en las tierras que han sido consolidadas por los tractores que trabajan en los campos. Se han encontrado dificultades semejantes en una tierra arcillosa de adobe. Naturalmente, si las raíces de las plantas no han penetrado completamente en la tierra, será inútil el muestreo de ésta ni se podrá depender de instrumento alguno que indique las condiciones de humedad de la tierra.

Como la humedad de la tierra, desde su capacidad de campo hasta el límite permanente de marchitamiento, es fácilmente accesible a las plantas y por ello se le llama humedad fácilmente disponible, no se necesitan los riegos, a menos que el depósito de humedad de la tierra se agote hasta cerca del límite permanente de marchitamiento. En la práctica puede ser necesario regar antes de que se llegue a ese punto peligroso. Los riegos deben iniciarse lo suficientemente temprano para que pueda aplicarse agua a la última parte del huerto antes de que sufran los árboles.

Cuando la tierra que contiene la mayor parte de las raíces ha llegado al límite permanente de marchitamiento, se

retrasa el crecimiento de los árboles y aparecen otros síntomas. El grado de los daños depende del periodo de tiempo en que la tierra quede en esas condiciones.

Las reacciones a los riegos pueden ser de dos clases generales: aquellas en que la reacción es inmediata u ocurre en la estación en que se hace un cambio en los tratamientos de riego, y aquella en que la reacción se produce lentamente y que a veces sólo es aparente después de varios años de continua aplicación de un determinado programa de riego.

En general, los resultados benéficos son principalmente los que se obtienen durante varios años de buenas prácticas de riego. Los resultados inmediatos son generalmente los perjudiciales que siguen ordinariamente a los cambios de prácticas que incluyen el descuido o la falta de riego, especialmente en determinados periodos.

POR REGLA GENERAL, los aumentos de rendimientos se encuentran entre los beneficios que tardan en aparecer y que son la recompensa de una larga y continua práctica de conservación de los árboles con suministros de agua fácilmente accesibles durante todo el año. Algunos de los resultados que siguen inmediatamente a la falta de suministro de humedad de los árboles, son el tamaño menor de muchos frutos, la demora en la maduración de las peras y una menor cantidad de nueces bien llenas en los nogales.

La proporción de crecimiento de la fruta es un indicador muy sensible del suministro de agua de los árboles. Los experimentos efectuados en California con varias clases de árboles frutales decíduos y de vides, demuestran que el crecimiento de la fruta continúa en proporción normal, independientemente de la cantidad de humedad fácilmente disponible en la tierra que contiene la mayor parte del sistema de raíces. Cuando la tierra llega al límite permanente de marchitamiento, hay una detención inmediata del crecimiento.

En algunas regiones en las que las lluvias de invierno son abundantes y la tierra retiene un suministro de humedad relativamente grande, pueden cultivarse sin riegos algunas frutas tempranas hasta su madurez, sin temor a que disminuyan de tamaño, porque la cantidad de humedad es suficiente para cubrir las necesidades de los árboles por lo menos hasta que se madura la cosecha. Si hay escasez de agua, es más recomendable suspender los riegos a fines de estación que a principios del verano.

En general, puede esperarse que los frutos lleguen a su tamaño normal si se sigue la práctica común de limitar los riegos y si la humedad de la tierra no llega al porcentaje de marchitamiento permanente mientras están creciendo.

El tiempo de aplicación de los riegos no debe depender de determinada etapa de crecimiento de las plantas. Las demandas de agua dependen del tamaño de la planta, luz del sol, temperatura, humedad y vientos, y no de la etapa de crecimiento de las plantas.

Muchos cultivadores creen que el regar en determinados periodos de la estación de crecimiento tiene efecto inmediato y perjudicial en la calidad de los frutos.

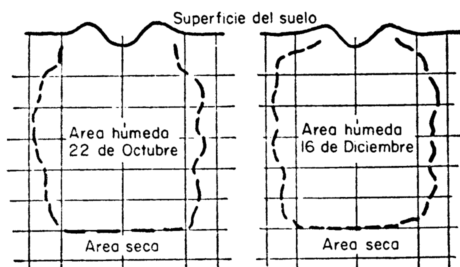
Nuestros experimentos han demostrado que esto no es así. Se obtiene la mejor calidad cuando los árboles tienen humedad abundante durante todo el año.

Los experimentos efectuados con duraznos para enlatar demostraron que si se mantenía la humedad disponible en la tierra hasta incluir la etapa de la recolección, no disminuía la calidad para el embarque o el enlatado. La falta de humedad fácilmente disponible durante varias semanas antes de la recolección, produjo duraznos de contextura áspera y correosa.

Aparentemente los tratamientos de riego no afectan en forma considerable la cantidad de los ciruelos medida de acuerdo con su gravedad específica, y ésta parece estar asociada con las condiciones climatológicas que existen durante el verano. Los tratamientos de riego tampoco afectan considerablemente las proporciones de secado de las ciruelas, ya que dependen principalmente de la cantidad de fruta en los árboles. Los años de cosechas abundantes muestran elevadas proporcio-

nes de secado, mientras que los de cosechas escasas tienen proporciones bajas.

Los riegos no afectaron las cualidades de conservación, sabor o proporciones de secado de las variedades de uvas de mesa y de pasas. Los vinos producidos por esas uvas bajo diferentes tratamientos de riego fueron notablemente semejantes cuando se permitió que la fruta llegara a su madurez.



El agua no se mueve con rapidez, ya sea hacia arriba, a los lados o hacia abajo por capilaridad, y permanecerá en su sitio hasta que la remueven las plantas. Se tomó esta gráfica de las mediciones hechas en un surco de riego en tierras de marga. Después de que desapareció el agua del surco de riego, se abrió una trinchera a través de éste y se notó la línea de demarcación entre la tierra húmeda y la seca, cubriéndose luego la trinchera. Cincuenta y seis días más tarde volvió a abrirse, se labró una nueva cara y se determinó nuevamente la línea de demarcación, pero el movimiento de humedad fue demasiado leve para que pudiera medirse.

La calidad es una característica intangible que no se adapta bien a mediciones precisas, pero sí pueden hacerse análisis de azúcar, ácido, firmeza y vida en almacenamiento, los resultados obtenidos favorecen las frutas que se han cultivado con riegos. La calidad no puede afectarse adversamente con los riegos, pero se afecta definitivamente si escasea el agua.

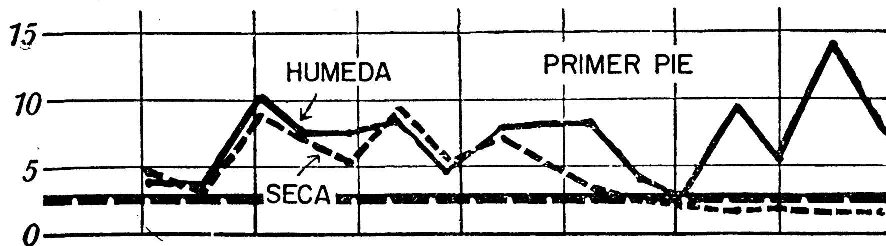
La experiencia obtenida en los huertos y viñedos de California puede ser un ejemplo de los requerimientos de agua de esas cosechas. Las condiciones de evaporación en los valles del interior del estado son tan serias como las de cualquiera otra región del país en donde hay un abundante cultivo de frutas. Se dan también los requerimientos en otras regiones del estado que tienen climas relativamente benignos.

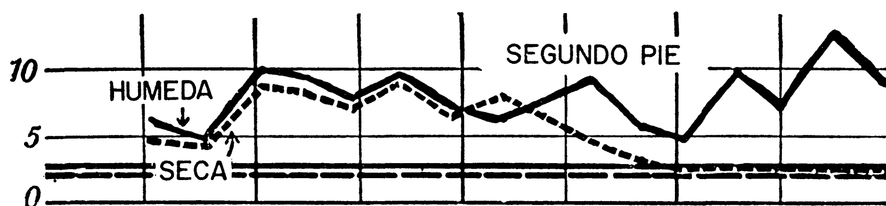
La máxima utilización del agua varía aproximadamente de 0.1 de pulgada diario, en las áreas costeras con climas benignos, a 0.4 de pulgada, o más, en las regiones calientes del interior.

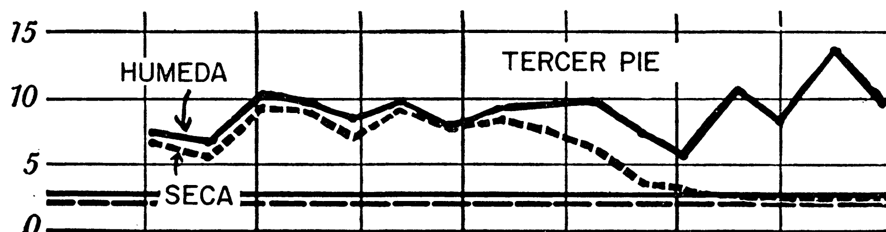
La siguiente información se refiere a las necesidades estacionales en condiciones de prácticas de riego razonablemente eficientes, y a la oportunidad y profundidad de los riegos en diferentes tipos de tierras. Debe tenerse en cuenta que la utilización real del agua por los árboles o vides no aumentará si se aumenta el número de aplicaciones, porque no puede hacerse que las plantas transpiren más agua en condiciones de elevada humedad de la tierra que cuando hay menos humedad fácilmente disponible. Cuando se hacen riegos mayores de lo necesario para asegurar la continuidad del suministro de agua fácilmente disponible, se produce un desperdicio debido a la evaporación superficial y a la filtración profunda. Si el agua es barata, hay la tendencia a aplicarla en exceso haciendo riegos demasiado abundantes en vez de demasiado escasos. Cuando se bombea el agua se emplean prácticas más conservadoras.

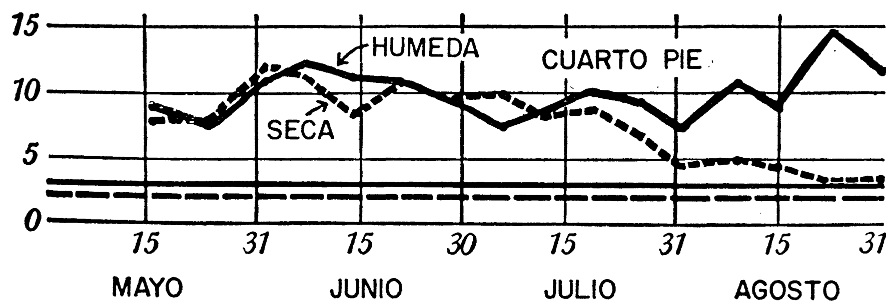
En los huertos maduros la máxima extracción de agua de la tierra puede ser hasta de 36 pulgadas-acre por acre en una estación. En un huerto normal del Valle de Sacramento pueden ser suficientes de 18 a 24 pulgadas-acre de agua de riego por acre para cubrir las necesidades de los árboles en años de lluvias normales. En las tierras profundas de contextura ligera el agua puede aplicarse en 3 riegos. Si el agua del suelo se encuentra a 12 pies o menos, los huertos decíduos pueden obtener el agua necesaria de esa fuente. Los riegos de invierno deben medirse por las condiciones de humedad de la tierra cuando la estación de invierno está por terminar. La práctica de regar las tierras que se encuentran húmedas en toda la profundidad de la zona de raíces, es antieconómica.

F. J. Veihmeyer *es profesor de riegos e ingeniero de riegos de la Universidad de Cali-*









Contenido de la humedad de la tierra en un huerto de duraznos. Las líneas gruesas horizontales indican el porcentaje permanente de marchitamiento de los dos tratamientos.

fornia en la Estación Experimental del Colegio de Agricultura en Davis de la misma Universidad.

A. H. HENDRICKSON *es patólogo de la Estación Experimental en Davis del Colegio de Agricultura de la Universidad de California.*

El riego de los prados y céspedes y el cuidado de los mismos

Rober M. Hagan

PROBABLEMENTE LAS HIERBAS de césped se dañan tan frecuentemente con los riegos indebidos como por su falta de aplicación con la frecuencia suficiente. Muchas gentes riegan los céspedes según sus hábitos o costumbres, sin fijarse si verdaderamente se necesitan. Sin embargo, el uso adecuado del agua es una de las prácticas de manejo más importantes que se requieren para conservar atractivas las áreas de césped.

En las regiones áridas y semiáridas de los estados del Oeste, las hierbas de césped deben regarse durante una gran parte del año. Sin embargo, en las regiones húmedas y subhúmedas, esas hierbas normalmente necesitan riegos sólo durante los periodos ocasionales de sequía para conservar su buen aspecto, y generalmente pueden sobrevivir sin riegos.

Este capítulo se ocupará principalmente de los problemas de riego de las regiones secas; pero los principios y prácticas que discutiré se aplican igualmente a aquellas localidades en donde los riegos se necesitan ocasionalmente para suplementar las lluvias.

Para el establecimiento de los céspedes las buenas reglas de riego son muy sencillas:

No se riegue con mucha frecuencia y sólo cuando las hierbas necesiten el agua.

Riéguese profundamente, evitando el error común de hacer rocíos ligeros cada día "sólo para enfriar la hierba".

¿Por qué tienen importancia los riegos adecuados de los céspedes? Por medio de las cuidadosas prácticas de riego, a menudo se puede ahorrar una cantidad considerable de agua, disminuir el tiempo necesario para los riegos y reducir los costos de mano de obra, evitar condiciones desfavorables de la tierra, conservar fertilizantes, disminuir los problemas debidos a las enfermedades, los insectos y las hierbas, permitir una utilización más amplia de los céspedes para usos recreativos y mejorar su calidad y aspecto. Si se puede lograr cualquiera de estos objetivos mediante buenas prácticas de riego, los esfuerzos que se hagan quedarán ampliamente compensados.

Los problemas más importantes de los riegos son los siguientes: ¿Cuánta agua hay que aplicar? ¿Qué tan a menudo hay que regar? ¿Cómo hay que aplicar el agua?

No pueden darse respuestas precisas a esas preguntas, que puedan aplicarse de modo general. No se puede confiar en las cantidades definidas de agua ni en los intervalos específicos de riego que a veces se recomiendan, y en vez de ello hay que considerar que cada problema de riego es diferente, que depende de la tierra, la hierba, el clima de cada localidad, el equipo de riego y otros factores que mencionaré más adelante.

Aunque son indispensables ciertos análisis y consideraciones, cada quien puede mejorar su eficiencia de riego si se conocen los factores que regulan la cantidad de agua que hay que aplicar en cada riego y los intervalos adecuados entre ellos. Es también muy importante comprender las características de funcionamiento de los equipos de aspersión.

Antes de seguir adelante puede ser conveniente hacer un breve recordatorio de las propiedades de retención de agua de las tierras.

Muchas tierras contienen aproximadamente la mitad por volumen de materia sólida, y el resto se compone de los espacios de los poros ocupados por el agua y por el aire. Durante los riegos, los poros pueden quedar casi llenos de agua hasta la profundidad humedecida. En esas condiciones se dice que la tierra está saturada y se vuelve un medio sumamente

desfavorable para la supervivencia de las raíces de las plantas. En tierras bien desaguadas, se escapa de una tercera parte a la mitad del agua (ordinariamente dentro de varios días), humedeciendo la tierra a mayor profundidad. Entonces ésta llega a un nivel de humedad característico que se llama capacidad de campo. La cantidad de agua retenida a la capacidad de campo depende de la contextura de la tierra o tamaño de las partículas que se encuentran presentes en ella. Las plantas que crecen en la tierra extraerán esa agua, y si no se añade más, las hierbas acabarán por marchitarse. Se llama punto de marchitamiento al contenido de humedad a que esto ocurre. El agua retenida por la tierra entre su capacidad de campo y el punto de marchitamiento, se llama agua disponible. La hierba no sufrirá por falta de agua mientras sus raíces estén en contacto con el agua disponible.

Varias tierras retienen cantidades diferentes de agua a su capacidad de campo y al punto de marchitamiento, y, por lo tanto, tienen diferentes capacidades de agua disponible. La capacidad de agua disponible se aprecia fácilmente cuando se expresa en galones por pie cúbico de tierra. Los valores típicos por pie cúbico de tierra son de 0.5 de galón para tierras arenosas, 1 galón para margas y 1.5 galones para arcilla. Sin embargo, para fines de riego, es más conveniente considerar las pulgadas de agua disponible por pie de profundidad de tierra, y empleando estas unidades, los valores típicos son de 0.5 a 0.75 de pulgada por pie en tierras arenosas, aproximadamente de 1.5 pulgadas por pie en margas y aproximadamente de 2.5 pulgadas por pie en arcillas. Estas cifras explican por qué las hierbas en tierras arenosas necesitan riegos más frecuentes.

Las pequeñas cantidades de agua aplicadas a una tierra seca sólo humedecerán una fracción muy pequeña de su profundidad, y bajo esa capa la tierra permanece seca. Si se aplica más agua a una tierra húmeda, la tierra superficial no retendrá esa humedad adicional y se humedecerá a mayor profundidad si el subsuelo es permeable.

Si el subsuelo es impermeable, las continuas aplicaciones de agua después que se haya humedecido la tierra llenarán todos los poros, excluyendo de ellos el aire y produciéndose un estado de saturación. El aire es necesario para el funcionamiento normal de las raíces de las hierbas, y éstas morirán por la continua exclusión de aire producida por los excesos de agua en la tierra. Las hierbas de césped generalmente sobreviven aun cuando mueran las raíces profundas; pero a causa del enraizamiento superficial esos céspedes requerirán riegos muy frecuentes, a pesar de la humedad abundante a profundidades en que las raíces de las hierbas deberían ser muy activas en condiciones favorables.

Muchos sistemas de aspersión no aplican el agua uniformemente sobre todo el césped, y aun cuando lo hagan, las diferencias en la capacidad de la tierra para absorber agua, resultan a menudo en fallas para humedecer la tierra a una profundidad uniforme, y los sitios que reciben menos agua se secarán más pronto. El agua puede penetrar muy lentamente porque la tierra sea de contextura desfavorable, haya quedado consolidada, o en algunas localidades se haya dispersado bajo el efecto de las sales de sodio. La penetración del agua puede ser mala en todo el césped, pero con más frecuencia es mucho peor en pequeñas áreas. En esas condiciones el agua debe aplicarse muy lentamente durante un largo periodo de tiempo para humedecer la tierra a una profundidad adecuada.

El agua puede penetrar lentamente en tierras de cualquier contextura, pero frecuentemente las tierras arcillosas causan dificultades. Las hendiduras superficiales que aparecen en algunas tierras arcillosas al secarse, facilitan la infiltración del agua. El tráfico a pie en los céspedes, especialmente cuando están húmedos, consolidará cualquier tierra superficial y sobre todo las arcillas, y disminuirá la proporción de penetración del agua.

La profundidad de tierra a la que penetren las raíces de las hierbas es muy importante. Mientras más profundas sean las raíces mayor será el suministro de humedad de la tierra que pueden consumir y mayores los periodos de tiempo antes

de que se necesiten riegos. De modo semejante, mientras más profundas sean las raíces será mayor el suministro de elementos nutritivos de la tierra y las hierbas dependerán menos de las fertilizaciones frecuentes. El césped con profundas raíces resiste al desarraigamiento, lo que es muy importante, especialmente cuando se utiliza con fines recreativos.

¿Qué tan profundamente crecen las raíces de las hierbas? Se cree comúnmente que las raíces se confinan en gran parte a las 4 ó 6 pulgadas superficiales de tierra. A menudo se encuentran a unas cuantas pulgadas de profundidad, y a veces las raíces tienen menos de media pulgada de largo. Ordinariamente ese enraizamiento tan superficial es consecuencia directa de condiciones desfavorables de la tierra o de malas prácticas de manejo. Si existen condiciones favorables de la tierra y si se emplean prácticas adecuadas de manejo, se alienta un enraizamiento profundo. Los mantos arcillosos, las capas duras o los mantos de roca a un pie debajo de la superficie, interfieren con el desarrollo máximo de las raíces. Otras dos causas comunes de enraizamiento superficial son el conservar el subsuelo demasiado húmedo mediante riegos excesivos y el permitir que se seque empleando aspersiones ligeras.

Si se les da oportunidad, las hierbas producirán raíces sorprendentemente profundas. En apariencia, las diversas especies tienen diferentes capacidades de enraizamiento. Por ejemplo, en una tierra arcillosa profunda en Davis, California, los plantíos de hierba de un año de edad extrajeron casi toda la humedad disponible de las siguientes profundidades: Hierbas tiesas, 1 pie; festucas rojas, 1 pie; hierbas azules, 2.5 pies; festucas altas, 3.5 pies, y hierbas Bermuda, más de 4 pies. Aunque la mayoría de las raíces ocurre dentro de esas profundidades, algunas se extienden mucho más abajo. Se encontraron algunas raíces de hierba azul Merion a profundidades de 5 pies, y de hierba Bermuda a 6 pies. Aun en los plantíos muy tiernos de sólo unos cuantos meses de edad, las raíces pueden extenderse a una profundidad de un pie o más. La capacidad de las hierbas para enraizar tan profundamente en condiciones favorables, generalmente no se toma en cuenta al preparar los sitios para las siembras o al regar las áreas de césped.

La extensión en que las prácticas de manejo, incluyendo altura de corte, fertilización, riegos, labranza (espigado) y renovación, pueden alterar la profundidad de enraizamiento, es muy incierta. Las investigaciones efectuadas en California han indicado que la profundidad de enraizamiento disminuye a medida que el césped se hace más viejo. Las profundidades reales de enraizamiento de las hierbas Merion y azul de Kentucky, en plantíos de dos años de edad, fueron sólo aproximadamente de la mitad de las de un año de edad. Otras han mostrado la misma tendencia para enraizar más superficialmente con lealtad. Se están investigando las causas de la muerte de las raíces profundas, a fin de ver si pueden desarrollarse prácticas de manejo para conservarlas.

La cantidad de agua que hay que aplicar en cualquier riego depende de las características de retención de agua de la tierra y de las profundidad de la que las raíces de las hierbas han extraído el agua de la misma.

Como las partículas mayores de las tierras arenosas retienen menos cantidad de agua, la aplicación de una cantidad determinada humedecerá las tierras arenosas más profundamente que las de contextura más fina. Mientras más seca esté la tierra durante el riego, se necesitará más agua para humedecer una profundidad determinada. Si la tierra se ha secado hasta que las hierbas comiencen a mostrar síntomas de marchitamiento, la cantidad de agua que debe filtrarse es aproximadamente igual a la cantidad de agua disponible retenida por la tierra dentro de la zona en la que las raíces de las hierbas han agotado la humedad. Las cantidades de agua requeridas (expresadas como profundidad en pulgadas) que deben penetrar en tierras típicas para humedecerlas a ciertas profundidades, se dan en una tabla al final de este capítulo. Por ejemplo, para humedecer una profundidad de un pie se necesita 0.75 de

pulgada de agua en tierras arenosas, 1.5 pulgadas en margas y 2.5 pulgadas en arcillas. Cuando ocurre algún desbordamiento superficial, la cantidad total de agua aplicada debe exceder de las profundidades indicadas en la tabla en la cantidad de agua perdida por desbordamiento.

La mayoría de las áreas de césped se riegan con instalaciones de aspersión portátiles o permanentes. El riego eficiente depende de la selección de un periodo correcto de funcionamiento de los rociadores, que deben aplicar el agua durante un periodo de tiempo suficientemente prolongado en cualquier tierra para reponer toda la humedad extraída.

Mójese la tierra a la profundidad total a que es probable que crezcan las raíces de las hierbas.

Se puede determinar el tiempo correcto de funcionamiento en cualquier tierra por el procedimiento siguiente: Déjese que la hierba remueva la humedad de la tierra y llegue a la condición de sequía que se escoja habitualmente para comenzar los riegos. Háganse funcionar los rociadores para proporcionar una cobertura completa, y anótese el tiempo necesario para restaurar la humedad de la zona de raíces empleando un instrumento de muestreo, pala o probador de punta aguda.

El tiempo correcto de funcionamiento para los rociadores puede calcularse aproximadamente de otro modo: Calcúlese la profundidad en que se note que está seca (véase la tabla). Mídase la profundidad del agua aplicada en diversos sitios en el área de césped usando latas de café vacías como medidores de lluvia, y determínese el tiempo que tarda en juntarse el promedio de profundidad de agua requerida.

Si los rociadores funcionan a través de un medidor de agua, puede calcularse fácilmente el promedio normal de aplicación en galones por minuto tomando la diferencia en las lecturas del medidor durante un periodo de 10 minutos. Entonces puede calcularse el tiempo necesario para calcular la profundidad de agua requerida (calculada por medio de la tabla) empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo horas)} = \frac{D \times A}{96 \times R}$$

En la fórmula, D es la profundidad de agua requerida (en pulgadas), A es el área cubierta (en pies cuadrados) y R es la proporción de aplicación (en galones por minuto).

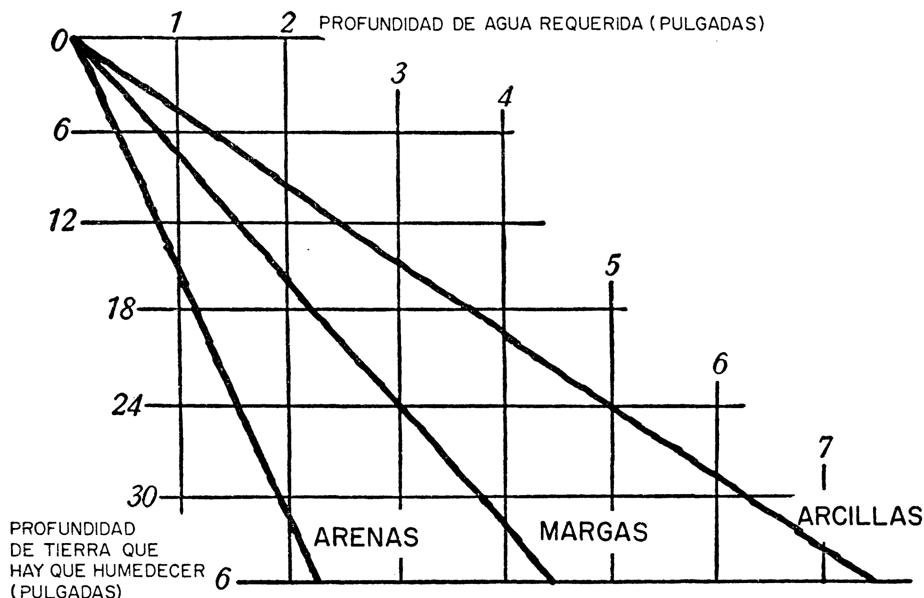
Es sorprendente el tiempo que se necesita para aplicar las profundidades correctas de agua. Por ejemplo, para mojar una profundidad de un pie de tierra de marga que se ha secado aproximadamente hasta el punto de marchitamiento, se requieren alrededor de 1.5 horas si la proporción de aplicación es de una pulgada por hora (proporción aproximada para los sistemas de aspersión por cabezas rociadoras fijas), o de 6 horas si la proporción es de 0.3 de pulgada por hora (proporción aproximada para los rociadores giratorios). Para mojar profundidades iguales de tierras arenosas se necesitaría aproximadamente una mitad más de esos tiempos. Las tierras arenosas necesitarían casi el doble del tiempo.

Una vez que se conoce el periodo de tiempo durante el cual deben funcionar los rociadores para obtener la profundidad de humedad deseada, úsense esos datos para controlar las aplicaciones futuras. Esto será una guía bastante exacta si siempre se seca la tierra aproximadamente al mismo contenido de humedad antes de cada riego, y si los factores que controlan la proporción de aplicación, tales como la presión de agua, permanecen más o menos constantes.

Ténganse en cuenta las dos precauciones siguientes:

Primera, no se dejen sin atención los rociadores durante largos periodos de tiempo. Si se aplica más agua de la que puede retener la tierra dentro de la zona de raíces, el agua sobrante se filtra hacia abajo y se desperdicia, arrastrando con ella al mismo tiempo los elementos nutritivos de las plantas. A menudo se crea un subsuelo saturado que puede destruir las raíces más profundas de las hierbas, así como los árboles o arbustos cercanos.

Segunda, no se hagan funcionar los rociadores sólo por unos cuantos minutos.



Pulgadas superficiales de agua requeridas para humedecer tierras secas a determinadas profundidades, suponiendo que no haya desbordamiento superficial. Cómo usar la tabla: Supongamos que van a humedecerse tierras de marga a una profundidad de 12 pulgadas. Búsquese en la escala de la izquierda la línea de 12 pulgadas y sígase a través de la tabla hasta que se cruce con la línea diagonal marcada "Margas", y entonces proyéctese una línea vertical hasta la escala superior de la tabla. La profundidad de agua requerida será de 1.5 pulgadas.

La mayoría de esa agua se desperdiciará por evaporación desde la superficie de la tierra. El humedecer la tierra a poca profundidad produce raíces de hierbas poco profundas, alienta la germinación de las semillas de hierbas dañinas, y con el tiempo produce un césped débil e infestado de hierbas perjudiciales. Debe tratarse de reponer toda la humedad que se ha extraído de la tierra. Sin embargo, en algunos casos esto no es fácil, debido a la aplicación desigual de agua por los rociadores y a la lenta penetración de la misma en la tierra.

¿Qué tan a menudo debe regarse el césped? No puede darse una respuesta aislada. Los intervalos de riego dependen del suministro total de humedad disponible en la tierra dentro de la zona de raíces de las hierbas, dividido por la proporción de utilización por las mismas y la evaporación superficial.

Consideremos la tierra como un depósito de almacenamiento. La cantidad total de humedad disponible en la tierra se determina por la capacidad de humedad disponible de la misma por pie de profundidad y por la profundidad real de enraizamiento de las hierbas. Por lo tanto, el suministro total depende de la contextura de la tierra (arena, marga o arcilla) y de la profundidad de la tierra que contiene raíces y que haya sido humedecida por las lluvias o por los riegos anteriores.

Cuanto tiempo dure el suministro de humedad disponible dependerá de la proporción de su remoción de la tierra por las raíces y de la evaporación superficial. La proporción de remoción o proporción de utilización de agua se controla por las condiciones climatológicas, la exposición del área de césped y la competencia de otras plantas. Las condiciones de clima, especialmente la intensidad de la luz, temperatura, humedad y viento, tienen gran efecto en las proporciones de utilización del agua. Pueden esperarse proporciones de utilización muy elevadas

en los días brillantes, calientes, secos y con viento. Por lo contrario, se utilizará muy poca agua en los días nublados, fríos, puestos al sol deben regarse más a menudo que los que están a la sombra de los edificios. Sin embargo, los céspedes sombreados por árboles necesitarán recibir agua adicional para reponer la que utilizan los árboles. Por lo tanto, la proporción de utilización del agua varía de un día a otro, de acuerdo con las condiciones de clima, y de un sitio a otro.

EN CIERTAS LOCALIDADES se han determinado las proporciones de utilización del agua para los meses típicos de verano. Las siguientes proporciones aproximadas muestran la gran variedad de valores que pueden esperarse. En las áreas costeras cubiertas por las nieblas de verano la proporción de utilización puede aproximarse a una pulgada por semana; en las áreas costeras secas del interior enfriadas parcialmente por las brisas marinas o en las regiones interiores calientes y húmedas, puede ser de 1.5 pulgadas por semana; en regiones calientes y secas del interior, puede ser de 2 pulgadas por semana, y en áreas desérticas, puede ser de 2.5 pulgadas por semana.

Consideremos de nuevo la pregunta: "¿Con cuánta frecuencia hay que regar?"

Puede calcularse el número de días que es probable que una área de césped permanezca sin mostrar síntomas de escasez de agua por medio de un sencillo cálculo:

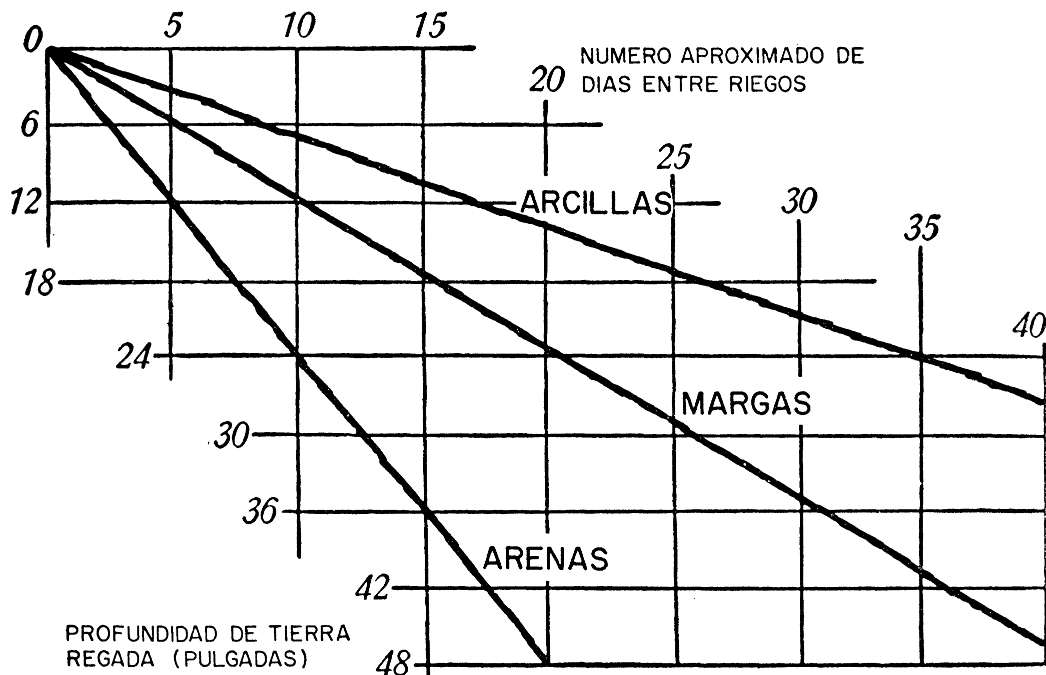
$$\text{Intervalo de riegos (en días)} = \frac{\text{SHD}}{\text{PUA}}$$

En la fórmula, SHD significa el suministro de humedad disponible dentro de la zona de raíces (en pulgadas) que se divide por PUA, o sea la proporción de utilización del agua (en pulgadas diarias). Consideremos un césped que crece en una tierra de marga con raíces eficaces a una profundidad de un pie en una área donde la proporción de utilización del agua es de 0.2 de pulgada diaria. Si la tierra ha quedado mojada por riegos o lluvias anteriores en toda la profundidad de un pie, contendrá 1.5 pulgadas de agua disponible dentro de la zona de raíces, de acuerdo con la tabla. Entonces el intervalo aproximado de riego es igual a 1.5 dividido por 0.2, o, aproximadamente, 7 días.

Pueden calcularse también los intervalos aproximados de riego utilizando la segunda tabla. Cuando la proporción de utilización de agua es de una pulgada por semana, como se supone en la tabla, una hierba que tenga raíces efectivas a una profundidad de 12 pulgadas no debe necesitar riegos durante casi 5 días en tierras arenosas, durante casi 10 días en margas y durante casi 17 días en arcillas. Si la hierba tiene una profundidad efectiva de raíces de 24 pulgadas, en esas condiciones los intervalos de riego deben ser entonces aproximadamente del doble.

En las regiones húmedas en donde no se riega gran parte del área de hierbas de césped, ordinariamente éstas no muestran síntomas de escasez de humedad aun cuando no haya lluvias durante varias semanas, y en los periodos prolongados de sequía, las hierbas pueden secarse, pero rara vez mueren. Sin embargo, en regiones de regadío se cree comúnmente que deben regarse las hierbas diariamente o cada dos días. Se están investigando las posibilidades de riegos poco frecuentes en Davis, por la Universidad de California, en donde la humedad es muy baja en verano y las temperaturas se aproximan a 100° F. en muchos días. En una tierra profunda de arcilla, las parcelas de hierba de 15 meses de edad no mostraron marchitamiento apreciable hasta que habían pasado los siguientes periodos de tiempo: Festucas rastreras y hierbas tiesas, 14 días; hierba azul de Kentucky, 24 días; hierba azul Merion, 30 días; festuca K-31, 35 días; hierba Zoysia, 45 días, y hierba Bermuda, 75 días. Después de esos periodos de tiempo, todas las hierbas, con excepción de la Bermuda, se encontraban completamente marchitas pero no se habían vuelto de color café. La Bermuda no mostró marchitamiento, pero su crecimiento fue muy lento.

Probablemente alguien piense: "No puedo hacer eso con mi césped." No se puede hacer si las raíces de las hierbas



Intervalos de riego influenciados por la contextura de la tierra y la profundidad de la zona de raíces que se humedece cuando la utilización de agua es de una pulgada semanal. Cómo usar la tabla: Supongamos que la hierba tiene raíces efectivas a una profundidad de 24 pulgadas y que la tierra se humedece hasta esa profundidad. Búsquese en la escala de la izquierda la línea de 24 pulgadas y sígase a través de la tabla hasta que se cruce con la línea diagonal marcada "Margas" y proyéctese una línea vertical hacia la escala superior, en donde se puede leer aproximadamente 21 días.

son muy superficiales debido a tierra superficial, edad de la capa de tierra o prácticas de manejo que hayan restringido el desarrollo de las raíces. Los experimentos efectuados en Davis muestran la importancia de la profundidad de las raíces para determinar la frecuencia de los riegos. Las festucas rastreras, las hierbas tiesas y las hierbas azules de dos años de edad, necesitaron riegos aproximadamente dos veces más frecuentes que el año anterior. La pérdida de las raíces profundas debida a la mayor edad había disminuido su tolerancia a la sequía. Puede permitirse que las hierbas que tienen algunas raíces profundas muestren síntomas de marchitamiento y una proporción considerable de coloración café sin riesgo de que se pierda el plantío. Si todas las raíces quedan confinadas en una zona poco profunda, algunas hierbas pueden morir poco tiempo después de que aparece el marchitamiento. Aunque se permitió que se volvieran casi completamente de color café, todas las hierbas incluidas en los experimentos efectuados en Davis reanudaron rápidamente su crecimiento después de que se las regó.

¿Por qué no considerar los resultados que he mencionado como un reto para ver qué se puede hacer para disminuir la frecuencia de los riegos? Compárense las condiciones de cada caso con los ejemplos anteriores y trátese de aumentar el número de días entre riegos. Cuando el tiempo entre riegos es demasiado prolongado, se notarán algunos síntomas de sequía en las plantas, que ordinariamente ocurren primero en áreas pequeñas; pero los céspedes ya establecidos no sufrirán daños si el agua se aplica prontamente.

Si se encuentra que los céspedes requieren riegos mucho más frecuentes que lo que habría de esperarse de los ejem-

plos anteriores, cerciórese que la tierra se esté mojando a la profundidad total de las raíces de las hierbas. Para hacerlo hay que seguir un programa de riego que permita que los rociadores continúen operando en un sitio durante un periodo de tiempo suficiente para suministrar una profundidad de agua adecuada pero no excesiva. Esto puede requerir el empleo de equipos de rociadores que apliquen el agua muy lentamente. En ciertos casos el cultivo superficial de las áreas de céspedes puede ayudar a aumentar la proporción de penetración del agua.

Independientemente de la estación, los céspedes deben regarse cuando las hierbas muestran síntomas de falta de humedad. Esto significa que pueden requerirse riegos ocasionales en invierno. En verano los riegos se necesitarán con menos frecuencia durante tiempo frío y nublado que durante los periodos de tiempo caliente.

No debe intentarse de una sola vez un cambio radical en los programas de riego, y esto es particularmente importante cuando las raíces de las hierbas son superficiales, debido al empleo de aspersiones ligeras o a condiciones desfavorables del subsuelo. Si se han practicado aspersiones ligeras, humedézcase a una profundidad por lo menos de un pie si las condiciones de la tierra lo permiten, y déjese que las raíces de las hierbas se extiendan más profundamente, Si el subsuelo está saturado, disminúyase el tiempo de funcionamiento de los rociadores para impedir que se añada más agua al subsuelo, y entonces auméntense gradualmente los intervalos de riego. Cuando el subsuelo comienza a secarse, auméntense los periodos de aspersión para reponer la humedad del mismo.

EN ALGUNAS REGIONES ES ESENCIAL la conservación del agua en los riegos de céspedes. No es raro encontrar que la utilización del agua para céspedes y plantas de ornato está controlada por cierto tipo de racionamiento.

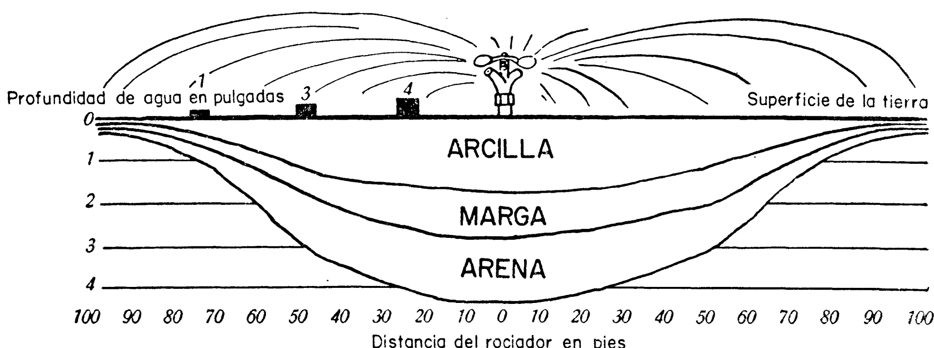
¿Cuál es la mejor forma de utilizar el agua cuando su suministro es limitado?

Primeramente evítense los desperdicios de agua, que generalmente acompañan a los riegos en cualquiera de las formas siguientes: Evítese el desbordamiento superficial que a menudo fluye a las alcantarillas y albañales pluviales. Repárense las válvulas que goteen y el equipo de riego. Absténgase de regar en exceso, lo que causa un desperdicio de agua al filtrarse más abajo de la zona de raíces de las hierbas. Evítense los riegos frecuentes y superficiales, práctica que permite que se pierda por evaporación una porción relativamente considerable del agua aplicada. Siempre que sea posible, riéguese cuando el aire está en calma y la presión de agua es adecuada, a fin de obtener una buena distribución de la misma. Hay otra sugestión más: Riéguese por la noche o en las primeras horas de la mañana cuando la humedad es alta y las temperaturas del aire pueden ser bajas.

Segunda, riéguese solamente cuando las hierbas realmente necesitan agua. Como ya lo he indicado, cada riego va acompañado de cierto desperdicio, y en la mayoría de los casos, mientras menores son los riegos, las pérdidas son también menores.

Tercera, si los suministros de agua son insuficientes, déjese que el césped sufra cierta deficiencia de agua por algún tiempo antes de reanudar los riegos. Ya se hizo notar que la mayoría de las hierbas de raíces profundas pueden llegar al marchitamiento y aun a la coloración café sin gran peligro de que se pierdan los plantíos. A medida que se seca la tierra superficial y que las hierbas desarrollan una deficiencia interna de agua, la proporción de pérdidas de agua de la superficie de la tierra y de la vegetación declina en forma apreciable.

La posibilidad de conservación del agua permitiendo cierta sequía en las hierbas de céspedes, fue estudiada en una serie de experimentos en Davis durante los meses calientes y sin lluvias del verano. En uno de los experimentos, las pérdidas combinadas de agua de la superficie de la tierra y de su utilización por la hierba azul Merion, dieron un promedio aproximado de 0.19 de pulgada diario durante la segunda semana después de los riegos, cuando el césped estaba todavía bien dotado de agua. Durante la tercera



Distribución de agua bajo un solo rociador rotatorio. Las profundidades de agua recogidas en latas colocadas a lo largo de la superficie muestran que hay una aplicación de agua progresivamente menor a medida que aumenta la distancia desde la cabeza rociadora, lo que se refleja en la profundidad de humedecimiento de la tierra. Para obtener una aplicación uniforme los rociadores tienen que entrecruzarse. La profundidad de tierra humedecida con una aplicación determinada de agua se determina por su contextura (arena, marga o arcilla).

semana fue en promedio de 0.17 de pulgada diario. El promedio de utilización bajó a 0.09 de pulgada diario durante la cuarta semana cuando se inició el marchitamiento, y permaneció aproximadamente en 0.07 de pulgada diario durante la quinta semana, a medida que la hierba se volvió de color café. La Zoysia Meyer en la tierra arcillosa profunda de Davis mostró síntomas de marchitamiento aproximadamente después de 45 días, y se volvió lentamente de color café durante los 50 días siguientes. Se regó entonces y recuperó rápidamente su color verde. La proporción promedia de utilización de agua calculada para todo el periodo de 95 días, fue menor de la mitad que para los primeros 45 días cuando la hierba continuaba creciendo. Por lo tanto, los riegos poco frecuentes ofrecen una solución real para disminuir la cantidad de agua requerida para la conservación de una área de césped.

Una recomendación común es la de aplicar riegos ligeros a las hierbas haciendo funcionar los rociadores sólo durante cortos periodos de tiempo cuando el suministro de agua es limitado. Sin embargo, realmente, el agua puede emplearse más eficientemente si se riega con menos frecuencia y mojando la tierra hasta la profundidad total de las raíces, y esto puede hacerse sin que ocurra desbordamiento apreciable.

Rara vez se compara la cantidad de agua empleada en regar céspedes con la proporción de utilización de agua en toda el área. Un cálculo muy sencillo proporcionará un método útil de verificar la eficiencia de los riegos de céspedes, y puede hacerse como sigue:

Puede obtenerse la cantidad de agua aplicada durante cierto periodo de tiempo de la lectura del medidor de agua, recibos de consumo de agua o registros de bombeo. Dividiendo el total de galones aplicados por el periodo de tiempo en días, se obtiene el promedio diario de proporción de aplicación en galones. Puede medirse el área de césped regada y expresarse con unidades adecuadas. Suponiendo que el agua aplicada se distribuya uniformemente en toda el área durante ese periodo de tiempo, se obtiene el promedio de profundidad de agua aplicada, expresado en pulgadas de agua diarias, mediante las siguientes relaciones:

Para áreas grandes:

$$\text{Agua aplicada (pulgadas diarias)} = \frac{36.7 \text{ x agua aplicada (galones diarios)}}{1.000{,}000 \text{ x área regada (acres)}}$$

Para áreas pequeñas:

$$\text{Agua aplicada (pulgadas diarias)} = \frac{1.6 \text{ x agua aplicada (galones diarios)}}{\text{área regada (pies cuadrados)}}$$

Los siguientes ejemplos aclaran este tipo de cálculo:

En una localidad en donde la evaporación de la tierra y de la vegetación era de 0.20 de pulgada diario (durante un periodo determinado), se usaron 900,000 galones de agua diarios para regar una área de césped de 60 acres. ¿Cómo se compara la cantidad de agua empleada con los requerimientos reales de agua del área?

Empleando la primera fórmula resulta que se aplicó un promedio de 0.55 de pulgada de agua. Por lo tanto, se empleó más del doble del agua que se necesitaba para cubrir las pérdidas por evaporación de la tierra y de las plantas. Ciertas pérdidas son inevitables, pero con un poco de cuidado debe ser posible mantener un césped regado por aspersión en buenas condiciones con una cantidad de agua que no exceda del 25% de las pérdidas reales por evaporación de la superficie del suelo y de las hierbas. Por lo tanto, en el ejemplo antes citado, un promedio de aplicación de 0.25 de pulgada diario debería ser suficiente.

En la mayoría de los céspedes el agua se aplica por medio de rociadores portátiles o permanentes y hay disponible una gran variedad de equipo. Un sistema eficiente de riego no es un accidente, sino que requiere un diseño cuidadoso y la selección de las unidades apropiadas. Un sistema mal planeado puede ser más bien una molestia que una comodidad, y puede también ser responsable del desperdicio del agua y de la mala apariencia de las hierbas.

No se puede hacer en este artículo una discusión detallada sobre diseño de rociadores y sólo mencionaré algunos puntos importantes que hay que tener en cuenta. Para obtener más detalles, los lectores deben consultar las publicaciones preparadas por los fabricantes de rociadores y sus distribuidores, y por algunas estaciones experimentales estatales o servicios de extensión.

Una tobera rociadora colocada en el extremo de una manguera, sostenida en la mano o colocada en un soporte, constituye el sistema de riego más sencillo y a la vez el menos satisfactorio en muchos aspectos. Muchos céspedes domésticos se riegan de esta manera. Los defectos principales de este método son generalmente la falta de distribución uniforme y el no aplicar la profundidad de agua suficiente.

Un sencillo cálculo sorprenderá al tipo de jardinero que hace riegos rápidos. Con una manguera de cinco octavos de pulgada a la presión típica de las ciudades, puede aplicarse el agua en proporción aproximada de 5 galones por minuto. Se puede verificar fácilmente la descarga de una manguera de esta clase anotando el tiempo que se necesita para llenar una cubeta de 5 galones u otra medida semejante. A esa proporción de 5 galones por minuto se necesitan 10 minutos para aplicar el agua suficiente para humedecer 100 pies cuadrados de tierra arenosa a una profundidad de 1 pie. Para humedecer esa misma área y profundidad en tierra arcillosa, se necesitarían aproximadamente 30 minutos, y para regar un césped de 1,000 pies cuadrados en tierra arcillosa a una profundidad de un pie se necesitarían 300 minutos. Muy poca gente tiene el tiempo o la paciencia necesarios para regar debidamente a mano. Por lo tanto, la mayoría de los céspedes regados a mano carecen de agua y la tierra sólo se humedece a unas cuantas pulgadas de profundidad, y muy a menudo sólo se humedece menos de media pulgada de tierra. Por lo tanto, no es de sorprender que cuando se aplican esos riegos superficiales, las hierbas de césped de las regiones áridas tengan que regarse casi diariamente para evitar su marchitamiento y decoloración.

Otro sencillo sistema de riego consiste de un rociador portátil de cabeza fija, giratoria u oscilante, conectado a una manguera de jardín. En áreas de césped relativamente pequeñas esos rociadores pueden funcionar en forma bastante satisfactoria, y hay disponible una gran variedad de tipos.

El más sencillo es el tipo fijo de fuente. Esos rociadores aplican el agua en proporción relativamente alta y puede ocurrir desbordamiento en unos cuantos minutos en muchas tierras.

Los rociadores rotatorios son de tama-

ño pequeño o mediano, y giran rápidamente. La mayoría tienen dos toberas, una o ambas de ellas colocadas en ángulo, a fin de que la reacción del chorro haga girar la cabeza. Ordinariamente una tobera cubrirá el área que se encuentra cerca del rociador y la otra la parte exterior del área circular.

Los rociadores que giran lentamente cubren áreas relativamente grandes, a veces hasta de 100 pies de diámetro. Se necesita una velocidad de rotación muy lenta para obtener la cobertura máxima. En tierras con escasa proporción de absorción debe emplearse un rociador con toberas pequeñas que giren lentamente.

Los rociadores oscilantes tienen ordinariamente una hilera de pequeñas toberas montadas en una corta sección de tubo que gira lentamente en arco. Estos rociadores aplican también muy lentamente el agua y tienden a humedecer una área rectangular.

El agua aplicada por medio de cualquier tipo de rociador no se esparce uniformemente sobre toda el área humedecida. Los rociadores estacionarios y giratorios tienden a formar un patrón cónico de distribución que hace que la mayor cantidad de agua caiga cerca de la cabeza, disminuyendo gradualmente a un mero rastro en la orilla del área cubierta. Si se emplea un solo rociador, hay que moverlo de tiempo en tiempo para obtener una cobertura uniforme. Si se mueve el rociador o si se usa en instalaciones permanentes, debe procurarse que haya una entrecruza de 30 a 50%.

Mientras mayor sea el área humedecida por el agua de los rociadores, es menor el promedio de la proporción de aplicación, y los rociadores tienen que funcionar por mayor tiempo en una localidad determinada para humedecer una profundidad apropiada de tierra. Un rociador giratorio conectado a una manguera de cinco octavos o tres cuartos de pulgada de diámetro, a la presión ordinaria de las ciudades, puede aplicar aproximadamente 5 galones por minuto y el rocío puede cubrir un radio de 40 pies. En ese caso se necesitarán casi ocho horas para humedecer tierras de marga a una profundadad de 6 pulgadas en un punto que se encuentre aproximadamente a 20 pies del rociador. Moviéndose hacia dentro del círculo de 20 pies, la tierra se humedecerá a profundidades cada vez mayores, mientras que fuera de ese círculo la profundidad de humedad disminuirá hasta el punto de desvanecimiento, aproximadamente a 40 pies de la cabeza.

Para muchos céspedes será suficiente un rociador giratorio u oscilante bien diseñado. Puede ser conveniente la instalación de varias válvulas en el césped para comodidad al conectar la manguera. Los pequeños rociadores portátiles pueden ser útiles, aun cuando se haya instalado un sistema subterráneo, para regar aquellos lugares que necesitan cantidades adicionales de agua debido tal vez a la competencia de los árboles u otras plantas.

El tipo subterráneo de rociadores de césped tiene pequeñas cabezas rociadoras instaladas a nivel de la superficie y sólo se necesita abrir una válvula para regar el césped. Este tipo es adecuado para los sistemas que se controlan automáticamente, y cuando está bien diseñado e instalado es muy satisfactorio, aunque su instalación es relativamente costosa. Se emplean varios tipos de cabezas y las más baratas son las cabezas rociadoras fijas, diseñadas primordialmente para emplearse en pequeñas áreas, aunque pueden usarse también en céspedes grandes si la presión del agua es baja. Las cabezas rociadoras fijas no dan molestias, pero cada una sólo cubre un área muy pequeña y es necesario instalar un gran número de ellas a corta distancia una de otra, lo que hace que los costos de la tubería e instalación sean muy altos. Cuando se espacían para dar una cobertura uniforme, el promedio de la proporción de aplicación es casi de una pulgada por hora, que es mucho mayor que la capacidad de absorción de muchas tierras, por lo que las pérdidas por desbordamiento pueden ser excesivas.

En los grandes jardines y en las áreas de césped de los parques y cementerios, se usan cabezas rociadoras escondidas que se levantan sobre la superficie del césped cuando se abre la válvula. Al igual que las cabezas fijas, aplican el agua en pro-

porciones excesivas. Hay también disponibles cabezas escondidas giratorias. Como cubren un área mayor por cabeza a una proporción menor de aplicación de agua, pueden espaciarse desde 30 hasta más de 75 pies de distancia, dependiendo del diámetro de la tubería de agua y de la presión.

Los rociadores rotatorios de acoplamiento rápido constituyen un sistema de riego de céspedes que es práctico y más económico. Las válvulas de acoplamiento rápido quedan escondidas en el césped y funcionan cuando se conecta a ellas una cabeza rociadora de diseño adecuado. Estos sistemas pueden instalarse a un costo relativamente bajo, y cuando están bien diseñados son muy convenientes y eficaces. Unas cuantas válvulas de acoplamiento rápido con cabezas giratorias apropiadas pueden suministrar un sistema satisfactorio de bajo costo para céspedes domésticos de tamaño moderado.

Algunos sistemas subterráneos emplean una combinación de cabezas fijas y rociadores giratorios. A menudo se usan las cabezas fijas para arreglar el césped y cubrir pequeñas áreas irregulares a las que no alcanzan los tipos giratorios. Deben tenerse en cuenta las diferencias en la proporción de aplicación de agua de estos dos tipos al seleccionar el tiempo adecuado de funcionamiento para cada uno. Para aplicar una profundidad de agua dada en el área, los rociadores giratorios del sistema deben funcionar durante un periodo de tiempo tres veces mayor que las cabezas fijas.

Antes de hacer una inversión en equipo rociador deben estudiarse sus características de funcionamiento, incluyendo capacidad de descarga, área cubierta y distribución de agua en el área humedecida. Una especificación importante es la presión que requieren los rociadores. Para obtener el patrón de distribución para el que fue diseñado un rociador, se necesita cierta presión mínima en la cabeza. Cuando esa presión es muy baja disminuye considerablemente la aplicación de agua. Un ejemplo típico de presión inadecuada es el patrón de rosquilla, una área cerca de la cabeza recibe muy poca agua y pronto se seca. Cuando la presión excede la de diseño, el rocío se descompone en gotas muy finas o "niebla", haciendo que se deposite gran cantidad de agua cerca de la cabeza rociadora cuando el aire está en calma o que se esparza a lo lejos cuando hay corriente. Las variaciones de presión afectan los patrones de algunos rociadores más que otros. La presión afecta también la capacidad de descarga del rociador. Si se duplica la presión, se aumenta la descarga en un factor igual a la raíz cuadrada de 2, o sea que la descarga se aumenta en 41%.

La Circular núm. 134 del Servicio de Extensión Agrícola de California, titulada *Sistemas de Aspersión de Céspedes,* por J. E. Christiansen, da los siguientes detalles:

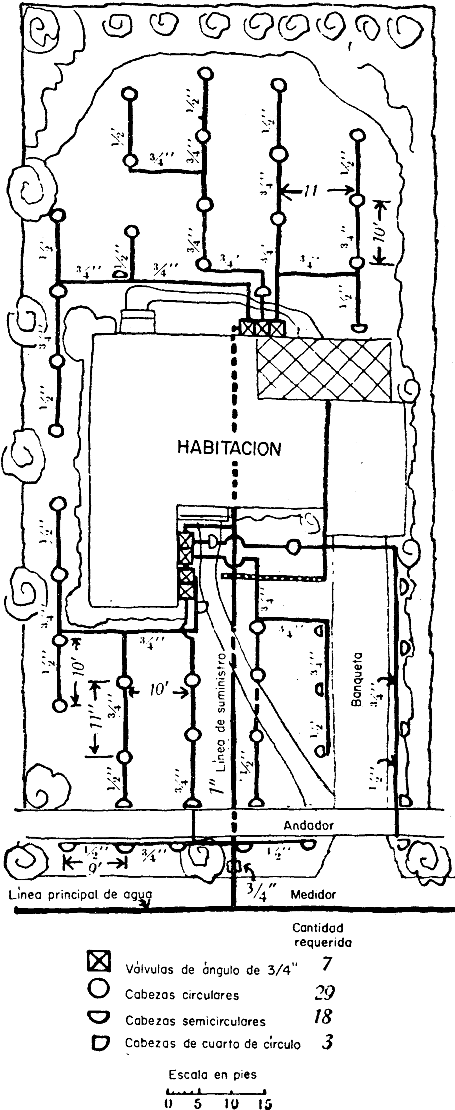
Los ocho pasos necesarios para la planeación e instalación de un sistema subterráneo de aspersión, son los siguientes: Determinar la presión estática del agua disponible; hacer un diagrama del área de césped; selecoionar y localizar las válvulas de control; seleccionar y espaciar las cabezas rociadoras; determinar el número de cabezas rociadoras en cada línea; seleccionar el diámetro de la tubería bajo la base de pérdida por fricción en las tuberías y resistencia de los medidores de agua, válvulas y accesorios; instalar el sistema teniendo en cuenta el hundimiento de la tierra, y ajustar las cabezas rociadoras según sea necesario.

Debe medirse la presión estática disponible conectando un medidor de presión a cualquier válvula de salida. Esa prueba debe hacerse a las horas en que se hacen los riegos en la vecindad, a fin de obtener la presión mínima.

Debe hacerse un esquema de toda el área mostrando la localización de la casa, andadores, banquetas, superficie de césped, jardines, líneas de suministro de agua y conexiones disponibles, a una escala no menor de un cuarto de pulgada por pie. El sistema puede entonces diseñarse totalmente en el papel, seleccionando los rociadores, accesorios y tubería adecuados. El plano para un lote de 60 pies del diagrama que se da al final, muestra los puntos que hay que considerar. Si no se puede diseñar el sistema, el esquema que indica las dimensiones y

presión disponibles puede servir al distribuidor para preparar el plano necesario.

Las válvulas de control deben seleccionarse y localizarse con especial cuidado. La válvula ideal debe ser de construcción robusta, ofrecer poca resistencia al flujo y no gotear cuando se cierra. Las válvulas de ángulo son mejores en las instalaciones de rociadores y deben estar



Ejemplo de diseño para un sistema subterráneo de aspersión en un lote de 60 pies.

provistas de una conexión de unión. Las localizaciones adyacentes a los andadores o pórticos, son más convenientes si quedan suficientemente lejos del rociador más cercano, a fin de evitar los rocíos.

Las cabezas rociadoras deben colocarse suficientemente cerca unas de otras para cubrir toda el área uniformemente como sea posible. Pueden disponerse los rociadores en cuadro o triángulo, y este último arreglo permite mayor espacio entre las cabezas con un tipo dado de rociador. Los rociadores que tienen un patrón cónico (en los que la cantidad de agua aplicada disminuye uniformemente de la cabeza hacia afuera) son más adecuados para entrecruzarse, a fin de dar una aplicación más uniforme sobre toda el área de riego. Cuando se emplean esos rociadores es mejor colocarlos a distancias iguales al radio del área humedecida por cada cabeza, lo que significa que el rocío de uno apenas llega a la cabeza de otro. Hay disponibles cabezas semicirculares para instalarse a lo largo de los andadores y orillas, y cuando se espacían debidamente puede usarse para humedecer las esquinas, lo que hace innecesaria la instalación de cabezas de cuarto de círculo.

El número máximo de cabezas que se instalen en una línea con una sola válvula de control depende de la presión disponible en la tubería, resistencia total o pérdida de presión en la línea de suministro entre la entrada y los rociadores, capacidad de las cabezas rociadoras (véanse las tablas de datos de los fabricantes) y disposición de los rociadores, ya sea que estén en una sola línea continua o en dos o más líneas auxiliares. Cuando se instalan muchas cabezas en una línea la presión de los rociadores no será suficiente para una distribución adecuada, se disminuirá la cobertura y aparecerán sitios secos entre las cabezas. Aunque no hay inconveniente en instalar menos cabezas de las que son posibles en una línea, se obtendrá mayor economía arreglando el diseño de manera que se necesite la menor cantidad de válvulas. Sin embargo, en áreas escasamente pobladas en donde se seguirán construyendo habitaciones, puede ser conveniente planear el sistema

bajo la base de una presión considerablemente menor que la que puede haber en las líneas principales.

Debe tenerse en cuenta la pérdida por fricción en las tuberías. Mientras sea menor el diámetro de la tubería y mayor la velocidad del agua a través de la misma, serán mayores la pérdida por fricción y la caída de presión. Para un flujo determinado de agua, cada pie de tubería de media pulgada tendrá la misma resistencia que 12.5 pies de tubería de una pulgada. Hay ya preparadas tablas que muestran las pérdidas por fricción para diferentes tamaños de tubería. La resistencia ofrecida por una tubería depende no solamente de su diámetro, sino también de la aspereza de su superficie interna. Cuando una tubería se corroe en su interior, aumenta la resistencia por fricción. La tubería de cobre tiene superficies internas lisas que se corroen lentamente y que mantendrán una elevada capacidad de transportación de agua. Hay disponibles también tuberías lisas de plástico y de hule que no se corroen. Los medidores de agua, válvulas y accesorios, producen también una pérdida de presión, y esas pérdidas varían considerablemente en los productos de diferentes fabricantes. Las pérdidas por fricción se expresan más convenientemente en términos de longitudes equivalentes de tubería de una pulgada. Por ejemplo, una válvula de ángulo de una pulgada tiene una resistencia equivalente a 8 pies de tubería de una pulgada; una válvula de globo de una pulgada tiene una resistencia equivalente a 30 pies de tubería de una pulgada. Los codos de una pulgada tienen una resistencia equivalente a 2 pies de tubería de una pulgada, y una salida lateral en T es equivalente a 3 pies de tubería de una pulgada.

El procedimento para determinar los tamaños adecuados de tubería y número de cabezas rociadoras en determinadas líneas, es bastante complicado.

Un buen trabajo durante la instalación es muy conveniente a la larga, ya que evitará pérdidas de presión y goteos y escurrimientos que pueden ser difíciles de localizar. En los céspedes nuevos es difícil colocar las cabezas rociadoras exactamente a la altura apropiada, ya que a menudo la tierra se hunde y las cabezas quedan demasiado altas. Para permitir ajustes posteriores después de que la tierra ha llegado a su nivel, ordinariamente los rociadores se conectan con uniones largas, a fin de que se extiendan aproximadamente 4 pulgadas sobre la tierra. Después de que ha quedado bien establecida la hierba y que la tierra ha alcanzado su nivel, esas uniones pueden removerse fácilmente, porque sobresalen de la hierba, cortándose entonces al tamaño adecuado y volviendo a instalarse. Esto evita que las cabezas queden hundidas o que sobresalgan demasiado, lo que las haría muy peligrosas y además estorbarían la siega. Cuando hay peligro de daños por las heladas, cada línea de rociadores debe conectarse a una válvula de desagüe.

Hay que hacer mención de otros varios tipos de equipo. Para regar fajas angostas entre andadores y banquetas se emplean líneas de toberas. La tubería para ellas puede adquirirse ordinariamente en la localidad o perforarse y roscarse a mano, pero es difícil alinear las toberas con toda precisión. Hay disponibles mangueras de plástico ya perforadas, que son más baratas y ofrecen ciertas ventajas sobre las líneas de toberas. Las mangueras porosas de lona son útiles para emplearse en fajas angostas o en bordos que son difíciles de regar de otro modo. Cierto número de cabezas montadas en un tramo de tubo o conectadas con pequeños tramos de manguera son relativamente económicas y pueden ser útiles para regar fajas de césped.

Para áreas grandes rectangulares o fajas curvas pueden ser útiles los rociadores movibles de autopropulsión, que consisten de una cabeza giratoria montada en un carro que se mueve mediante un carrete de enrrollamiento, habiendo modelos con diferentes capacidades y coberturas y cuya velocidad a menudo es ajustable. Sin embargo, hay que mencionar una precaución: A las velocidades que se emplean comúnmente, sólo pueden aplicar de una tercera parte a la mitad del agua necesaria en una pasada. Si la tierra está seca, un tercio de pulgada de agua

sólo mojará aproximadamente 5 pulgadas de tierra arenosa, 2 pulgadas de marga y una pulgada de arcilla, por lo que se requiere más de una pasada para obtener riegos profundos.

Si la proporción de aplicación es muy alta, el agua puede acumularse formando charcos o desbordarse poco tiempo después de iniciados los riegos. Cuando esto ocurre, el impulso normal es cerrar las válvulas de los rociadores en la creencia de que la tierra ha quedado humedecida a la profundidad adecuada. En realidad sólo se ha humedecido una delgada capa de tierra. Muchos rociadores aplican el agua más rápidamente de lo que la tierra puede absorberla, y si esto sucede debe disminuirse la proporción de aplicación cuanto sea posible. Algunos rociadores pueden dotarse con toberas más pequeñas o puede interrumpirse su funcionamiento a intervalos para permitir que el agua se absorba antes de aplicar mayor cantidad.

A menudo ocurre un desbordamiento serio cuando los céspedes se encuentran en tierras en declive o que han quedado consolidadas. La acumulación de desechos de cortes y crecimientos enmarañados bajo algunas clases de céspedes, condición a la que a menudo se le llama techumbre, puede interferir también con la penetración. Se han empleado perforadores, implementos que remueven cilindros de tierra a profundidades de 3 ó 4 pulgadas, para mejorar la penetración de agua.

A veces la aplicación de reformadores de tierra es benéfica, dependiendo de la química de la tierra. Por ejemplo, la aplicación de yeso a las tierras contaminadas con sales de sodio puede mejorar su estructura y aumentar las proporciones de filtración del agua. Sin embargo, a menos que esas sales se encuentren presentes, el yeso no tendrá efectos benéficos. La cal, que se recomienda generalmente en el Este, no puede usarse como substituto del yeso para mejorar las tierras con alto contenido de sodio, ya que será de poca o ninguna ayuda desde el punto de vista de la nutrición en la mayoría de las tierras del Oeste, que generalmente son neutras o alcalinas. Los acondicionadores sintéticos de tierras desarrollados recientemente pueden mejorar la estructura de algunas de ellas si se incorporan en debida forma durante la preparación previa a la siembra de céspedes, pero no se sabrá su valor a largo plazo hasta que se hayan hecho mayores investigaciones. La evidencia disponible indica que esos acondicionadores sintéticos tienen poco o ningún efecto en los céspedes ya existentes.

Otros reformadores de la tierra, tales como materia orgánica, arena o minerales porosos, deben añadirse en grandes cantidades y mezclarse perfectamente con la tierra para que sean de alguna utilidad. Antes de sembrar un nuevo césped puede ser posible mejorar hasta cierto punto las futuras proporciones de penetración de agua añadiendo grandes cantidades de esos materiales. Deben incorporarse por lo menos tres yardas cúbicas de tierra de turba o estiércol por cada 1,000 pies cuadrados, o aproximadamente 50% por volumen de tierra o reformadores porosos, a fin de obtener una mejoría apreciable. A menos de que se esté preparado para efectuar un cambio de consideración en las condiciones de la tierra, a menudo pueden obtenerse mejores resultados dejando las tierras originales sin alteración alguna.

Aun los sistemas bien diseñados e instalados pueden no trabajar satisfactoriamente si no se les dan ciertos cuidados durante su funcionamiento. Debe evitarse que las hierbas interfieran con los rocíos de las cabezas colocadas al nivel de la superficie a fin de obtener rendimientos adecuados. A medida que el césped se hace más viejo, el colchón de tierra engruesará y las cabezas quedarán demasiado bajas. Cuando esto ocurre deben removerse los rociadores instalando uniones más largas. Las cabezas rociadoras pueden quedar obstruidas con materias extrañas impidiendo la distribución uniforme del agua y haciendo necesaria su remoción para limpiarlas. Si la presión de agua baja demasiado para el funcionamiento adecuado de los rociadores cuando se hacen funcionar todos a la vez, debe emplearse menor número de cabezas en cada aplicación. La baja presión de agua disminuirá el diámetro de la cobertura de cualquier cabeza rociadora y cau-

sará un patrón desigual de distribución. El viento puede deformar la distribución haciendo que queden sitios secos entre las cabezas y a lo largo de la dirección del mismo, por lo que no hay que hacer aspersiones cuando hay mucho viento.

¿A QUÉ HORAS DEL DÍA debe regarse el césped? En muchos sitios no importa la hora. Sin embargo, hay que considerar que el tiempo escogido para los riegos puede influenciar tanto su eficiencia como las condiciones de las hierbas. Se puede obtener mayor eficiencia en los riegos cuando las temperaturas son bajas, la humedad es alta y no hay vientos. Puede esperarse una distribución más uniforme del agua cuando la presión de ésta es suficiente y no hay viento. Por lo que hace a las hierbas no importa el tiempo en que se las riegue, excepto en verano, época en que las enfermedades de hongos pueden ser graves. El regar los jardines a pleno sol durante el calor del día rara vez daña el césped. En ocasiones ocurren ciertos daños en el césped que crece en tierras apretadas que desaguan lentamente si se deja que queden casi completamente saturadas durante el tiempo muy caliente, lo que puede dañar las hierbas y sus raíces ocurriendo lo que se llama escaldado. Los riegos en las primeras horas del día permiten que la hierba se seque rápidamente, y pueden disminuir los problemas debidos a las enfermedades. El tiempo ideal para regar es cerca de la salida del sol, siendo menos deseables los riegos por las tardes cuando las temperaturas son altas, la humedad es baja y puede haber fuertes vientos. A menudo las presiones de agua bajan al caer la tarde y al principiar la noche, y si los céspedes se riegan a esa hora, las hierbas quedarán húmedas toda la noche, lo que es un incentivo para las enfermedades si las noches son calientes.

LOS CÉSPEDES NUEVOS presentan problemas especiales de riego. Antes de sembrarse, el sitio del futuro césped debe regarse perfectamente para facilitar el acomodamiento de la tierra y suministrar la humedad del subsuelo, necesaria para inducir el enraizado profundo de las hierbas, ya que será difícil hacerlo después de que se ha sembrado la semilla. Si la semilla se siembra en tierra seca no es necesario regar inmediatamente, si esto no es conveniente. Sin embargo, una vez que se humedece la tierra alrededor de la semilla, es necesario mantener la superficie constantemente húmeda hasta que termina la germinación. Una o dos aspersiones ligeras al día durante el periodo de germinación deben ser suficientes en la mayoría de las tierras durante tiempo caliente. Debe emplearse un rocío fino para no deslavar la tierra ni desalojar la semilla.

Después de que han brotado los retoños pueden atacarlos los hongos del debilitamiento, especialmente si el plantío es denso. Estos organismos son más activos cuando la superficie de la tierra está húmeda, y su propagación puede retardarse evitando los riegos al caer la tarde y dejando que se seque la superficie de la tierra. Pueden aplicarse también fungicidas adecuados. Sin embargo, si se deja que la superficie se seque demasiado pueden destruirse algunas de las especies de germinación más lenta, pero que son más deseables, quedando sólo las hierbas de vivero que germinan más rápidamente.

Cuando ha nacido la hierba debe aumentarse gradualmente el intervalo entre aspersiones y la cantidad de agua aplicada. A medida que las hierbas quedan bien establecidas deben prolongarse lentamente los intervalos entre riegos, demorando éstos hasta que el césped comience a mostrar síntomas de sequía.

Las prácticas de riego se relacionan con otros problemas de los céspedes, y entre ellos se cuentan la consolidación de la tierra, fertilidad, salinidad, enfermedades, insectos y hierbas dañinas.

El apisonamiento de la tierra superficial con el tráfico a pie, o por el equipo de mantenimiento, es una causa común de los céspedes delgados y llenos de hierba, ya que impide el enraizamiento profundo y causa una penetración deficiente del agua. La consolidación puede ocurrir en todos los tipos de tierra, pero es más perjudicial en tierras arcillosas y en las que se componen de partículas con gran variedad de tamaños. Si la tierra ha que-

dado apisonada, el agua debe aplicarse lentamente durante largo tiempo, a fin de obtener una penetración adecuada, y aún así puede ser difícil obtener una penetración profunda y uniforme, haciendo necesarios los riegos relativamente frecuentes. Sin embargo, mientras más se riegue una tierra sujeta a consolidación mayores serán las oportunidades para el apisonamiento adicional de la superficie, lo que retrasará todavía más la penetración.

La consolidación es más seria cuando el contenido de humedad de la tierra está próximo a su capacidad de campo. La tierra relativamente seca puede soportar un tráfico considerable sin que se perjudique su estructura. Por lo tanto, si las áreas de césped sólo se riegan cuando las hierbas muestran deficiencia de agua, puede disminuirse considerablemente el riesgo de la consolidación. No se debe pisar la hierba hasta que la superficie esté casi seca. Los perforadores de suelo que remueven cilindros de tierra sin molestar el césped pueden ser eficaces para mejorar la penetración de agua en las tierras consolidadas, y deben usarse a intervalos frecuentes para obtener los mejores resultados.

Las prácticas de riego pueden modificar el suministro de elementos nutritivos de la tierra que necesitan las plantas. Para absorber esos elementos nutritivos las raíces necesitan agua y aire, y el exceso de riego en las tierras mal desaguadas hace que se llenen de agua los espacios de los poros entre las partículas de tierra excluyendo el aire. La saturación de la tierra impide la descomposición de la materia orgánica y la liberación subsecuente de elementos nutritivos. Los excesos de riego en tierras bien desaguadas deslavan los elementos nutritivos y hacen necesarias las aplicaciones más frecuentes de fertilizantes. Los síntomas de deficiencia de nitrógeno son comunes en los céspedes que se riegan con exceso.

A la inversa, la falta de riegos, al humedecer sólo una pequeña profundidad de tierra y confinar las raíces de las hierbas a un escaso volumen de la misma, agrava también los problemas de fertilidad. Se cree que las raíces de hierba no pueden utilizar los elementos nutritivos disponibles en la tierra seca, lo que hace que las raíces sólo aprovechen los elementos nutritivos que se encuentran en la capa superficial. Esto es semejante a cultivar una planta en un tiesto demasiado pequeño. Mientras menor sea el tamaño del recipiente, hay que añadir fertilizante más a menudo para llenar las necesidades de la planta.

La presencia de sales en la tierra o en el agua requiere que los céspedes se rieguen con más frecuencia. En ocasiones debe aplicarse agua suficiente para lavar las sales dentro de la tierra y llevarlas bajo la zona de raíces. El lavado o desleimiento de las sales en las tierras saladas, ya sea por las lluvias o por el agua de riego, es el método que se emplea generalmente para mejorarlas, lo que sólo puede conseguirse si hay un desagüe adecuado. Con frecuencia la acumulación de sales de sodio desfloculará la tierra y perjudicará su estructura, haciendo que el movimiento hacia abajo del agua a través de ella sea extremadamente lento. En esos casos es necesario instalar desagües de ladrillo y añadir yeso antes de que pueda establecerse un buen césped. La hierba Bermudia, la Zoysia Meyer y la Festuca alta en ese orden, resisten mejor que otras hierbas comunes de césped las condiciones adversas de salinidad y desagüe.

El agua suavizada que se suministra a menudo en los sistemas domésticos de las ciudades en zonas de aguas duras, es muy perjudicial para los riegos, y cuando hay necesidad de usarla, debe proveerse cierto desleimiento. Si es posible, debe usarse en los riegos el agua no suavizada. La clorina que se le añade para purificarla y el cobre empleado como alguicida en las piscinas, no causarán daños a las hierbas de césped.

A menudo pueden reprimirse o eliminarse las enfermedades de los céspedes mediante una selección apropiada de prácticas de riego y de manejo. La mancha café, la mancha rosa, el lunar de dólar y los daños del *Helminthosporium,* causan muchas dificultades en las hierbas suculentas durante periodos de excesiva humedad y temperaturas elevadas. El cre-

cimiento demasiado rápido y la suculencia del césped pueden controlarse de dos modos: Riéguese solamente cuando hay indicaciones de deficiencia de agua, y entonces riéguese en abundancia. Aplíquense fertilizantes de nitrógeno soluble rápida pero escasamente, cuando es probable que los suministros de agua, la temperatura y la humedad pueden favorecer el crecimiento suculento. La suculencia durante el verano en climas secos puede regularse fácilmente controlando los riegos.

Se necesitan mayores investigaciones para aclarar las relaciones que existen entre los riegos y la incidencia de las enfermedades. Las siguientes reglas se basan en la mejor información que ha sido posible obtener, pero hay cierta incertidumbre a este respecto. Los experimentos efectuados han sugerido que las enfermedades de los céspedes pueden tener acceso a las plantas a través de los extremos cortados de las hojas, y que se favorecen con las acumulaciones de "rocío" que se compone de agua condensada del aire y jugos de las plantas exudados de las hojas, que favorecen el crecimiento y desarrollo de los esporos de las enfermedades. Si se retrasan los riegos hasta que la hierba muestre síntomas de sequía se formará menos "rocío", se disminuirá la proporción de crecimiento de la hierba y se necesitarán siegas menos frecuentes. Si el riego de los céspedes se hace en las primeras horas de la mañana, cuando la temperatura aumenta y la humedad desciende, la hierba permanecerá húmeda durante un periodo de tiempo más corto. Se cree que en esas condiciones las enfermedades serán un problema menos grave.

A menudo se toman por sitios secos las manchas cafés o decoloradas que aparecen en los céspedes durante la estación de crecimiento y que se deben a enfermedades o ataques de los insectos. A la inversa, los sitios secos pueden confundirse con daños causados por las enfermedades o los insectos, y es necesario distinguir las causas antes de que se tomen medidas para corregirlas. Esto puede hacerse fácilmente. En un césped regado recientemente, la tierra que se encuentra debajo de las manchas causadas por enfermedades o insectos estará húmeda y podrá penetrarse fácilmente con un implemento agudo y el césped puede quedar ligeramente sujeto a la tierra. En áreas en que la decoloración se debe a sequía excesiva, la tierra estará seca y será difícil de penetrar con un implemento agudo.

Las manchas cafés y decoloradas debidas a enfermedades o insectos pueden mejorarse aplicando fungicidas o insecticidas adecuados, pero no pueden corregirse añadiendo más agua. Los sitios secos pueden corregirse inspeccionando los rociadores para evitar obstrucciones en las cabezas, regándolos cuando la presión del agua es adecuada para el sistema o empleando menos cabezas a un mismo tiempo, y regando a mano si el sistema de riego es insuficiente.

Los insecticidas que se emplean en los céspedes son a menudo solubles en agua. Las prácticas de riego que añaden más agua de la que pueden utilizar los céspedes, diluyen innecesariamente esas substancias y las llevan más allá de la profundidad en donde son eficaces. La práctica de riegos excesivos alienta también el desarrollo de hierbas suculentas que son más susceptibles de ser atacadas por nuevas infestaciones.

Ninguna práctica aislada de mantenimiento es más importante para la represión de hierbas perjudiciales que los riegos adecuados. Para que esas semillas puedan germinar y sobrevivir, necesitan estar húmedas en todo tiempo hasta que se establecen sus raíces. Cuando un césped ya establecido sólo se riega cuando es indudable la necesidad de agua, la superficie de la tierra queda tan seca entre riegos que las hierbas en germinación morirán probablemente por desecación o quedarán ahogadas por las hierbas de césped con raíces más profundas. La hierba de cangrejo, la hierba Poa anual, el éxalis, el trébol, el musgo y las algas, se benefician con los riegos frecuentes y ligeros, pero muy pocas hierbas dañinas resistirán los riegos abundantes y la buena fertilización.

Robert M. Hagan *es presidente del Departamento de Riegos de la Universidad de California en Davis y profesor asociado de riegos de la Estación Agrícola Experimental del Estado.*

El desagüe de los campos



La historia de nuestras empresas de desagüe

Hugh H. Wooten y Lewis A. Jones

DESDE LOS TIEMPOS de los primeros pobladores, los agricultores norteamericanos han desaguado las tierras.

En 1763 George Washington y otros inspeccionaron el área del Pantano Triste de Virginia y North Carolina, con miras a un proyecto de recuperación de la tierra y transportación de agua hacia el interior. En 1787 los dos estados organizaron la Compañía del Canal del Pantano Triste, y éste se inauguró siete años más tarde, constituyendo todavía un medio de transporte y una ayuda para evitar las inundaciones.

Se construyeron también obras primitivas de desagüe en Delaware, Maryland, New Jersey, Massachusetts, South Carolina y Georgia. Se efectuaron obras de desagüe de interés público bajo la autorización de leyes coloniales y estatales, y entre esas primeras leyes se encuentran las de Maryland de 1790 y de Delaware de 1826. Igualmente los estados centrales del Norte se interesaron en el desagüe de la tierra poco tiempo después de poblarse, y en 1847 Míchigan y Ohío tenían ya leyes de desagüe.

Los primeros trabajos que se iniciaron en los días de la colonia consistían principalmente en la construcción de pequeñas zanjas abiertas para desaguar los sitios húmedos de los campos y para limpiar las pequeñas corrientes naturales, y todo ello requería muy pocos trabajos de ingeniería. En 1835 John Johnson, del Condado de Seneca, New York, trajo de Escocia moldes que permitieron la fabricación a mano de tubos de arcilla que empleó en su granja, y ese fue el principio de los modernos desagües de barro en los Estados Unidos de Norteamérica.

Apenas se estaba iniciando la población de los Valles del Ohio y del Mississippí, y la mayor parte de esas tierras, aunque muy fértiles, no podían cultivarse hasta que fueron desaguadas, siendo muy común la malaria en grandes extensiones. En esa región el empleo de los desagües de barro se propagó rápidamente, y para 1880 había 1,140 fábricas de tubos de barros que funcionaban principalmente en Illinois, Indiana y Ohío, y en 1882 se habían colocado más de 30,000 millas de desagües de barro en Indiana.

Los agricultores se dieron cuenta de que el éxito de muchos de los sistemas de desagüe con tubos de barro dependía de las grandes zanjas de salida, y aumentó rápidamente la construcción de ellas a medida que se poblaron los estados centrales del Norte. La Sociedad de Ingenieros y Agrimensores de Ohío informó en 1884 que se habían construido 20,000 millas de zanjas públicas en el estado, que beneficiaban a 11 millones de acres de tierra y constituían una mejoría para la salud de los habitantes.

Se calcula que el desagüe ha añadido entre 25 y 30 millones de acres al área de labranza de los estados centrales del Nor-

te y que ha aumentado la producción en otros 37 millones de acres.

Son típicas de esas adiciones a nuestras tierras arables las grandes superficies del noroeste de Ohío, norte de Indiana, la parte central del norte de Illinois, la parte central del norte de Iowa y el sudeste de Missouri. El informe de la expedición de Long a las fuentes del río Minnesota en 1823, escrito por W. H. Keating, de la Universidad de Pennsylvania, quien acompañó a la expedición, describe lo que eran antes esas áreas. La expedición de Long, que se efectuó por orden de J. C. Calhoun, secretario de Guerra, pretendía obtener informaciones sobre las condiciones del país al oeste de Pennsylvania, que entonces no se había desarrollado todavía.

El profesor Keating describe así las tierras al este de Fort Wayne, Indiana: "Cerca de esa casa cruzamos el lindero que divide Ohío de Indiana... La distancia de allí a Fort Wayne es de 24 millas, sin que haya un solo poblado. La región es tan húmeda que casi no encontramos un solo acre de tierra donde pudiera establecerse algún poblado. Caminamos un par de millas vadeando con nuestros caballos, a los que a veces llegaba el agua a las cinchas, y como encontramos un pequeño manchón de hierba comestible (que por su color se conoce por esas rumbos como hierba azul), intentamos detenernos para que pastaran los caballos; pero nos fue imposible hacerlo debido a los innumerables enjambres de mosquitos y tábanos que atormentaban en tal forma tanto a los caballos como a los jinetes que impedían todo descanso."

Describió también como sigue la tierra al sur y al oeste de Chicago:

"Desde Chicago hasta un sitio donde vadeamos el río Des Plaines, la región consiste de una pradera baja, plana y pantanosa, con un denso crecimiento de hierbas altas, plantas acuáticas, y entre ellas arroz silvestre. Este último ocurre principalmente en los sitios inundados y sus hojas flotan en la superficie del agua como las de las plantas domésticas tiernas. Toda la región se inunda en primavera y las canoas la atraviesan en todas direcciones."

El desagüe cambió esa situación. Actualmente el viajero que admira los campos productivos y bien cuidados, las grandes construcciones de las granjas, los buenos caminos y espléndidas escuelas, puede olvidarse de que el desagüe hizo posible muchos de esos adelantos y que sin él las diferentes localidades estarían casi en las mismas condiciones que describió Keating en 1823. En ambas áreas hay actualmente más millas de zanjas públicas de descarga y de desagües que de carreteras.

LAS LEYES DE TIERRAS PANTANOSAS de 1849 y 1850 constituyeron las primeras legislaciones federales de importancia en relación con el desagüe de las tierras, y fueron resultado de más de 20 años de discusiones en el Congreso sobre los procedimientos de expropiación necesarios para iniciar la recuperación de las tierras inundadas de dominio público. Durante más de 75 años constituyeron la única expresión de la política federal de desagües. Bajo esas leyes se transfirieron grandes superficies de pantanos y tierras inundadas al dominio de los estados, a condición de que los fondos obtenidos de su venta se utilizaran para construir los desagües y represas necesarios para recuperarlas.

Bajo esas Leyes de Tierras Pantanosas de 1849, 1950 y 1950, se traspasaron a los respectivos estados aproximadamente 64 millones de acres de pantanos y tierras inundadas en 15 estados, a fin de facilitar la recuperación de ellas para fines agrícolas. Ese traspaso no contenía reservas de importancia y los estados eran libres para disponer de la tierra como quisieran hacerlo. De ese modo el Gobierno Federal abandonó el control de la mayoría de los trabajos potenciales de desagüe en favor del dominio público.

Es práctica común el considerar como fracasos los desagües y proyectos de control de inundaciones iniciados bajo las Leyes de Tierras Pantanosas. Es cierto que en gran parte los estados no desarrollaron inmediatamente las tierras, como se esperaba, pero eso no fue todo.

En los estados de la parte baja del Valle del Mississippí, en los que la administración y utilización de los fondos des-

tinados a las tierras pantanosas fue una cuestión política, económica y social durante más de 30 años, la recuperación efectuada bajo las Leyes de Tierras Pantanosas afectó permanentemente la economía agrícola. Las experiencias sobre control de inundaciones e ingeniería de desagües obtenidas al tratar de cumplir con las disposiciones de las concesiones, constituyeron la base para los complicados proyectos de desagüe que se emprendieron más tarde por los distritos locales, los estados y el Gobierno Federal para el control de las inundaciones en la parte baja del Valle del Mississippí. Igualmente, la mayoría de los conceptos legales y administrativos y los sistemas implantados bajo las Leyes de Tierras Pantanosas se convirtieron en parte integrante de las prácticas de desagüe y de control de inundaciones.

De acuerdo con el texto de las Leyes de Tierras Pantanosas, la recuperación incluía tanto el control de inundaciones como los desagües, pero tanto los legisladores estatales como federales no comprendieron la complejidad y costo de los desagües y control de inundaciones en la parte baja del Valle del Mississippí. Las entradas obtenidas con las ventas de las tierras pantanosas eran una bicoca comparadas con las cantidades requeridas para el control de las inundaciones y el mejoramiento de los desagües. Históricamente las Leyes de Tierras Pantanosas tienen gran significación, debido principalmente a la extensa transferencia de tierras que se obtuvo con ellas, primeramente del Gobierno Federal a los Estados, poco tiempo después de los gobiernos estatales a los condados y juntas de represas, y más tarde a los particulares y empresas.

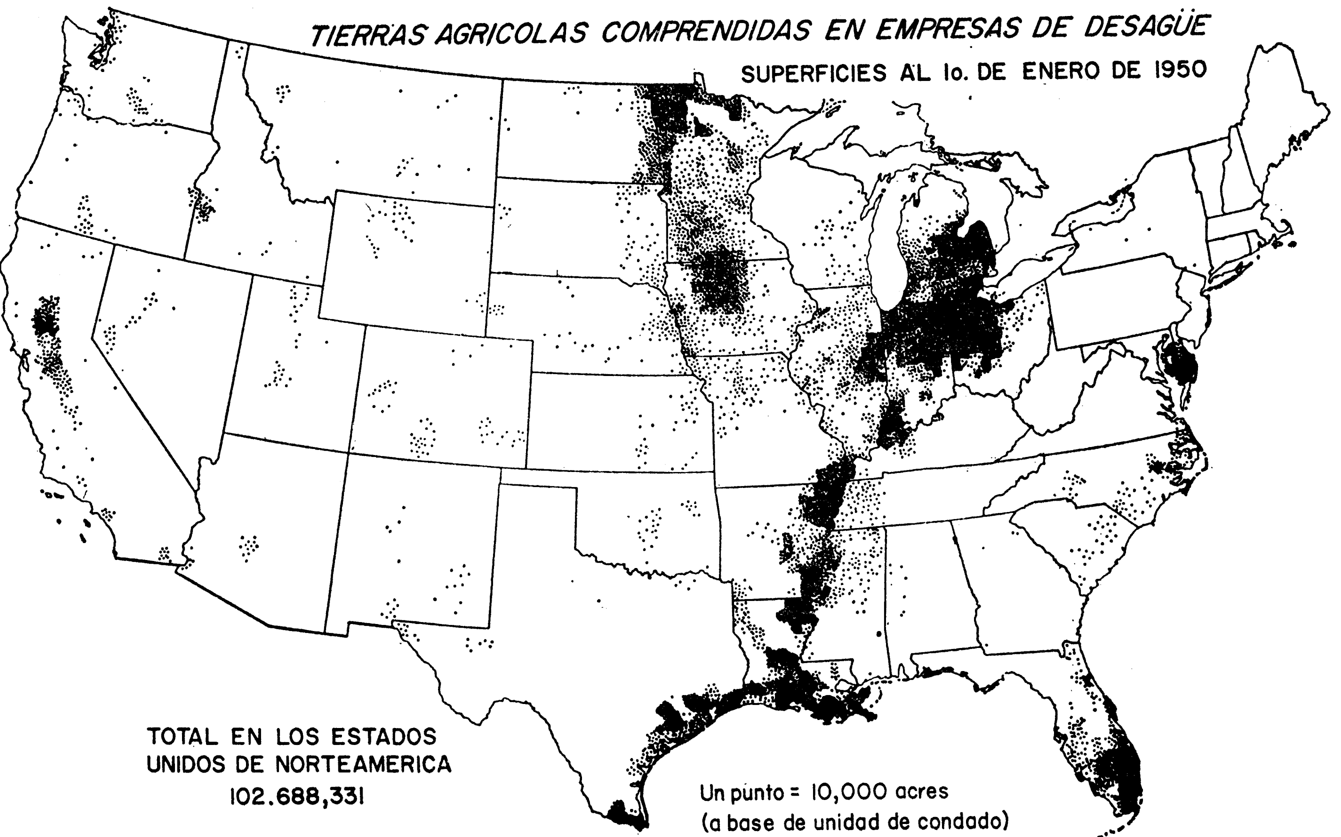
Desde 1850 hasta 1900 ocurrieron frecuentemente inundaciones desastrosas, y las pérdidas de vidas y propiedades hicieron necesario el aumentar cada año las inversiones para las obras de control de ellas. Con el tiempo las mejoras del control de inundaciones aumentaron en forma impresionante, y con ese constante aumento las corrientes de optimismo encontraron una forma de expresión en el desarrollo de nuevas tierras. Alrededor de 1900 se consideraba que las obras públicas de recuperación debían incluir el desagüe de la tierra además de la construcción de represas, y muy pronto el paisaje de muchas de las regiones del delta cambió, debido a las actividades de desagüe iniciadas y financiadas por medio de la creación de distritos locales de desagüe bajo legislación estatal.

El desagüe constituye una mejora de la tierra y una práctica de cultivo aproximadamente en 2 millones de granjas. El censo agrícola de 1950 incluye casi 103 millones de acres de tierras comprendidos en empresas organizadas de desagüe en los distritos y condados de 40 estados. Se han gastado más de 900 millones de dólares, o sea un promedio aproximado de 9 dólares por acre en obras de mejoramiento de desagües públicos en esos 103 millones de acres, que forman una superficie mayor que las superficies combinadas de Ohío, Indiana e Illinois. Se han construido más de 155,000 millas de zanjas de descarga, 56,000 millas de desagües de salida de barro, 7,800 millas de represas y plantas de bombeo con más de 110,000 caballos de fuerza. Las obras varían desde menos de 100 acres hasta más de 1 millón de acres, y su promedio aproximado es de 7,300 acres.

De los 103 millones de acres de obras de desagüe, unos 15 millones están todavía demasiado húmedos para que puedan cultivarse, y en 10 millones de acres adicionales son frecuentes las pérdidas de cosechas, debido a los malos desagües.

Esas condiciones poco satisfactorias se deben primordialmente a la falta de buenas prácticas de ingeniería en el diseño de las mejoras y a un mantenimiento indebido.

Además de las tierras comprendidas en empresas públicas de desagüe, se calcula que se han desaguado más de 50 millones de acres de tierras húmedas de granja por medio de proyectos individuales privados. No tenemos informes precisos sobre la cantidad de dinero invertida o el número de millas de zanjas de campo y desagües de barro instalados aisladamente por los agricultores para el desagüe de sus campos, pero se calcula que las inversiones en esos trabajos superan


TIERRAS AGRICOLAS COMPRENDIDAS EN EMPRESAS DE DESAGÜE
SUPERFICIES AL 1o. DE ENERO DE 1950
TOTAL EN LOS ESTADOS
UNIDOS DE NORTEAMERICA
102.688,331
Un punto = 10,000 acres
(a base de unidad de condado)

Superficies de tierras comprendidas en regiones de empresas organizadas de Desagüe y en años específicos de 1920 a 1950 [1]

Región [2]	*1920 1,000 acres*	*1930 1,000 acres*	*1940 1,000 acres*	***1950 1,000 acres***	*Cambio 1940-50 1,000 acres*
Norte:					
Noreste	0	0	578	**744**	166
Estados de los Lagos	19,757	21,548	20,730	**21,979**	1,249
Zona productora de maíz	28,924	32,700	32,194	**35,194**	3,000
Planicies del Norte	2,164	2,929	3,227	**3,457**	230
Total	50,845	57,177	56,729	**61,374**	4,645
Sur:					
Apalaches	1,265	1,873	1,908	**2,750**	842
Sudeste	1,843	6,247	6,016	**6,506**	490
Delta del Mississippi	7,347	11,275	11,703	**19,886**	8,183
Planicies del Sur	2,178	3,054	4,416	**6,096**	1,680
Total	12,633	22,449	24,043	**35,238**	11,195
Oeste:					
Montañas	810	1,970	2,773	**2,671**	[3] —102
Pacífico	1,207	2,812	3,422	**3,405**	[3] —17
Totales	2,017	4,782	6,195	**6,076**	[3] —119
Estados Unidos de Norteamérica	65,405	84,408	86,967	**102,688**	15,721

[1] Oficina de los Censos: Censo de Agricultura de 1950, Desagüe de Tierras Agrícolas, tomo 4, 1950.
[2] Incluyendo las empresas de riego que tienen sus propios desagües.
[3] Disminución indicada por el signo menos.

Desarrollo de los desagües y utilización de las tierras comprendidas en Empresas de Desagüe en los Estados Unidos de Norteamérica en 1950 [1]

Año	*Tierras en todas las empresas* *1,000 acres*	*Desaguadas* *1,000 acres*	*Mejoradas* *1,000 acres*	*Sembradas de cosechas* *1,000 acres*
Antes de 1870	171	150	133	97
1870-79	428	404	373	277
1880-89	2,429	2,267	2,173	1,865
1890-99	3,643	3,500	3,256	2,482
1900-04	5,769	5,414	5,134	3,814
1905-09	12,192	11,081	10,340	7,652
1910-14	19,573	14,138	12,281	9,006
1915-19	18,012	16,262	14,067	10,268
1920-24	11,272	10,028	8,848	6,480
1925-29	7,411	6,824	6,188	4,511
1930-34	2,093	1,974	1,788	1,326
1935-39	3,874	2,962	2,808	1,824
1940-49	15,721	——	14,729	——
Total hasta 1950	102,688	——	82,138	——

[1] Oficina de los Censos: Desagüe de Tierras Agrícolas (1940) 1942; Desagüe de Tierras Agrícolas, tomo 4, 1952.

en mucho a la cantidad gastada en la construcción de desagües de descarga.

Como regla general sólo se suministran las salidas principales cuando se construyen obras públicas de mejoramiento de desagües. Ordinariamente los agricultores deben instalar las salidas necesarias en sus granjas, limpiar y nivelar las tierras cuando esto es necesario y prepararlas debidamente para su cultivo antes de que puedan cultivarse en la mejor forma posible.

El mapa y las tablas que se dan al final de este artículo muestran la localización de las tierras desaguadas y la proporción de los desagües en ellas. Las tierras comprendidas en las grandes empresas organizadas de desagüe se encuentran principalmente en la zona productora de maíz, en los estados de los lagos y en el delta del Mississippí. Entre 1920, cuando se tomó el primer censo de desagües, y 1950, el mayor aumento de tierras comprendidas en empresas de desagüe ocurrió en los estados del delta y de la zona productora de maíz. La región del Sudeste tuvo un gran incremento proporcional. Los trabajos de desagüe relativamente escasos efectuados en los estados del Oeste se han relacionado en gran parte con los riegos.

Entre 1940 y 1950, la tierra comprendida en empresas de desagüe aumentó en casi 16 millones de acres. La mitad de ese aumento ocurrió en el delta del Mississippí y 4 millones de acres de ese aumento ocurrieron en los estados de los lagos y en la zona productora de maíz.

Se ha experimentado también un gran aumento en Texas. Esas tres regiones, incluyendo Texas y Florida, comprenden las tres cuartas partes de las tierras abarcadas en empresas de desagüe en 1950.

A veces la construcción de canales y salidas principales hecha por el Cuerpo de Ingenieros, especialmente en el Valle del Mississippí, ha ayudado al desagüe de granjas y distritos. Esas salidas nuevas o mejoradas han alentado la organización o reactivación de muchos distritos de desagüe a fin de mejorar las zanjas de desagüe locales y disfrutar de los beneficios derivados de un desagüe con mejores salidas principales.

Sin embargo, gran parte de los proyectos públicos de desagüe se emprendieron por los distritos locales de desagüe y por los condados, y la inversión se hizo principalmente por los particulares mediante la creación de impuestos locales o contribuciones especiales sobre las propiedades beneficiadas pero los agricultores individuales y los pequeños grupos, han recibido escasa ayuda financiera y técnica para el desagüe de sus granjas, de los programas agrícolas y de conservación de tierras, a pesar de que esos trabajos han contribuido al plan total de conservación de una granja o área local.

HAY DOS FORMAS PRINCIPALES de organización bajo las leyes de desagüe:

En una de ellas, que puede llamarse la "forma de condado", la dirección de los asuntos de la empresa queda en manos de los funcionarios del condado, que pueden o no pueden estar interesados personalmente en ella. La otra, que puede llamarse "forma de distrito o corporación", pone la dirección en manos de una junta elegida por los terratenientes de la empresa. Ambas formas funcionan eficazmente si están bien administradas, y las obras de desagüe pueden financiarse bajo cualquiera de ellas mediante la venta de obligaciones que son redimibles en periodo de varios años. Esas obligaciones constituyen un derecho primordial sobre las tierras beneficiadas del distrito y se consideran inmediatamente después de las contribuciones estatales o del condado y antes de las hipotecas sobre tierras.

Generalmente las leyes estatales dan al terrateniente un medio de organizarse para obtener mejoras en los desagües, un método de división de los costos de las mismas, el derecho de decretar impuestos a todos los que resultan beneficiados, el derecho de confiscación de la propiedad privada por causa de utilidad pública y un método de financiamiento mediante la venta de obligaciones que se redimirán en cierto número de años.

LAS LEYES DE DESAGÜE de la mayoría de los estados se han desarrollado gradualmente desde los tiempos de los primeros pobladores, a medida que se han

planeado mejoras mayores y más costosas. Las muchas reformas, revisiones y leyes suplementarias promulgadas por las legislaturas a veces han dado por resultado disposiciones inconsistentes y aun contradictorias, que hacen necesario que los tribunales revisen su significado.

Los tribunales han pronunciado fallos sobre muchas fases de los trabajos de desagüe y han dejado bien establecidos los requisitos de dichas legislaciones. Con el deseo de cumplir con esos fallos, ordinariamente los estados han reformado y vuelto a reformar sus leyes de desagües sin considerar la ley como un todo. En algunos estados las leyes no establecen disposiciones para el mantenimiento de las obras de desagüe después de que se han construido. En otros estados los métodos de apreciación de los beneficios son poco satisfactorios, y en la mayoría de ellos las leyes establecen los procedimientos y salvaguardas necesarios en las grandes empresas de desagüe que requieren la expedición de obligaciones pero no establecen procedimientos sencillos y económicos para la organización y funcionamiento de pequeñas empresas cuando las obras pueden pagarse en efectivo. Un comité competente organizado en cada estado en donde los desagües son de importancia, podría estudiar con provecho la legislación sobre desagües existente y las resoluciones de los tribunales, y preparar las recomendaciones necesarias para el mejoramiento de las leyes existentes.

Antes de 1910, la organización de los distritos de desagüe que requerían la expedición de obligaciones se limitó primordialmente a los estados centrales del Norte. Había unos cuantos distritos en el área de aluvión de la parte baja del Valle del Mississippí. En los fértiles subsuelos de pradera y en las tierras generalmente niveladas de los estados centrales del Norte, los problemas de ingeniería eran muy sencillos, el costo de los desagües era bajo y los gastos para el cultivo de la tierra eran pequeños. Muchos de estos primeros trabajos resultaron productivos e hicieron posible el desarrollo de algunas de las áreas agrícolas más fuertes y prósperas del país.

Los trabajos de desagüe se continuaron con pocas excepciones bajo una base conservadora aproximadamente hasta 1915, cuando el periodo de precios elevados, que fue consecuencia de la Primera Guerra Mundial, llevó al desarrollo especulativo de grandes áreas de bosques talados, pantanos y marismas en casi todo el Valle del Mississippí y en los estados del Sur, mediante el desagüe. Muchos de esos proyectos encontraron dificultades económicas por una u otra causa desde 1925 hasta 1940, y requirieron ajustes y nuevo financiamiento de las deudas.

En muchos de esos distritos los promotores no tomaron en cuenta factores tales como la fertilidad de la tierra, el costo de desarrollo de las unidades de granja después de terminar los desagües, el costo de mantenimiento de las obras de mejoramiento de ellos y los mercados para los productos de granja que se cultivarían. Los planos de desagüe estaban incompletos en algunos distritos o las obras de mejoramiento se proyectaban con una capacidad insuficiente. Había grandes áreas que quedaban mal desaguadas y que no podrían producir cosechas provechosas sin que se hicieran grandes obras adicionales. En la mayoría de los casos esas dificultades se debían a defectos de planeación y métodos fragmentarios de desagüe. Algunos distritos no empleaban ingenieros competentes y muchos de los proyectos eran inadecuados desde un principio porque las tierras no eran adecuadas para la labranza, porque no eran lo suficientemente fértiles para garantizar su desarrollo o porque la falta de control o la erosión causada por las tierras de las colinas circunvecinas hacía impracticable el mantenimiento de las obras de mejoramiento de las obras de mejoramiento de los desagües.

Para evitar en lo futuro esas dificultades, los interesados deben efectuar las investigaciones necesarias para determinar la deseabilidad de las empresas de desagüe desde el punto de vista de la tierra y su utilización, a fin de desarrollar proyectos correctos de ingeniería y financiar las obras bajo una base reembolsable.

El estado de Louisiana ha reconocido la necesidad de este tipo de obras, y en 1940 inauguró un programa de rehabilitación de las empresas de desagüe existentes y de ayuda para el desarrollo de otras nuevas, y algunos otros estados están estudiando programas semejantes.

El Gobierno Federal sólo llevó a cabo una pequeña porción del desagüe directo de tierras antes de la organización de programas de emergencia de obras públicas en la década de 1930. Sus funciones fueron principalmente consultoras o indirectas. En años más recientes, con la organización de las nuevas agencias federales de financiamiento y la expansión consiguiente de los trabajos de construcción, por las agencias establecidas primeramente, esas funciones se ampliaron notablemente.

La naturaleza de estas actividades se define generalmente por ley sólo en lo que la autorización de los presupuestos anuales para las agencias por el Congreso implica la aprobación de los programas en vigor. Al aprobar los presupuestos para las obras del Departamento de Agricultura, Oficina de Recuperación y Cuerpo de Ingenieros, el Congreso autorizó ciertos tipos de investigación, ayuda financiera y construcción relacionados con el desagüe, especialmente en lo que se refiere a conservación, recuperación y control de inundaciones. El Congreso ha suministrado también ayuda federal en otras formas, en relación con las actividades de desagüe.

El Congreso ha concedido derechos de paso y permisos a las empresas constructoras de canales y zanjas para llevar a cabo mejoras en todo lo que se refiere al dominio público, y ha autorizado el censo de las empresas de desagüe cada decenio. Autorizó también al Banco de la Reserva Federal para comprar y vender obligaciones expedidas por los distritos de desagüe, autorizó a los tribunales que deciden de las quiebras para recibir peticiones de los distritos de desagüe relacionadas con el reajuste de las deudas, y facultó a la antigua Corporación Financiera de Reconstrucción para que financiara operaciones de reembolso para los proyectos de desagüe existentes. Por lo tanto, desde 1925 a 1940 el Gobierno Federal se preocupó principalmente de la rehabilitación de las empresas que sufrían dificultades económicas. Gran parte de esas dificultades se debieron al desarrollo de proyectos de desagüe en años anteriores, planeados indebidamente con fines especulativos o por intereses ajenos a la Federación.

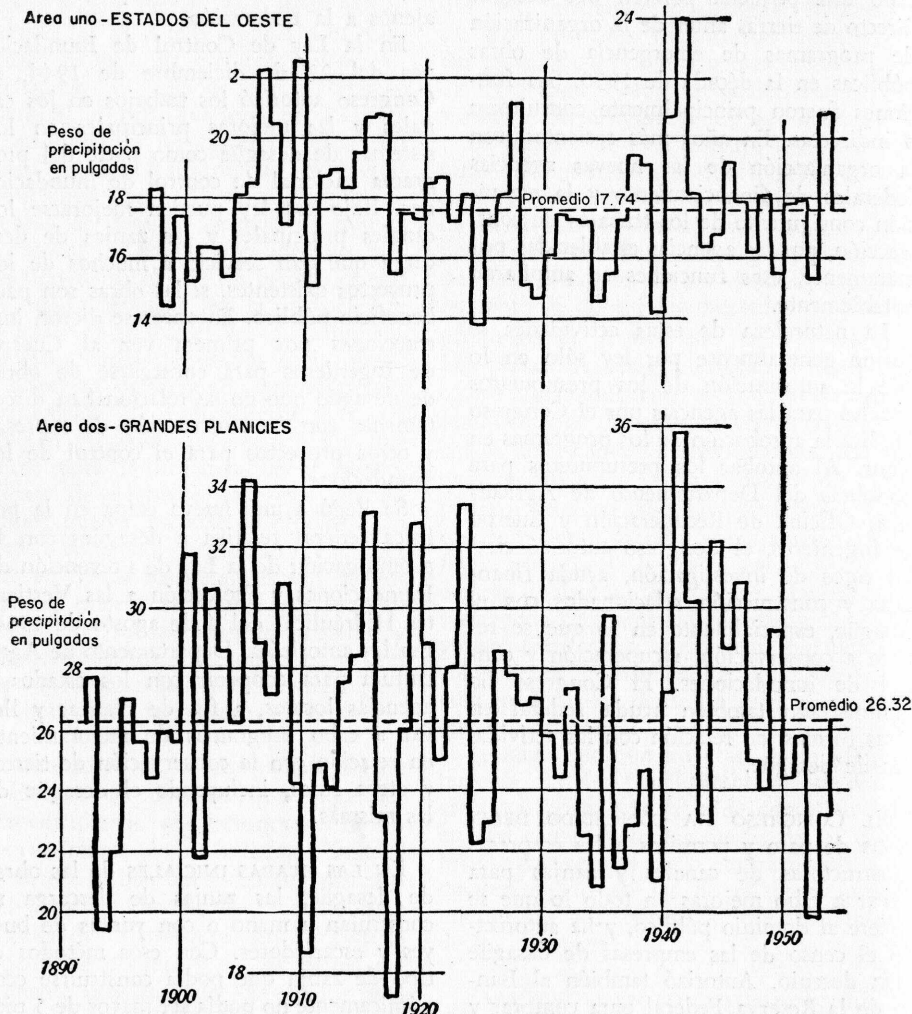
En la Ley de Control de Inundaciones del 22 de diciembre de 1944, el Congreso autorizó los trabajos en los canales y las mejoras principales en los sistemas de desagüe como parte del programa nacional de control de inundaciones. Bajo esa ley pueden mejorarse los canales principales y las zanjas de descarga que dan servicio a muchos de los proyectos existentes, si las obras son para beneficio público. Entonces se dieron instrucciones por primera vez al Cuerpo de Ingenieros para encargarse de obras de desagüe que no se relacionaban directamente con la construcción de represas y otros proyectos para el control de las inundaciones.

Se llegó a una nueva etapa en la política federal relativa a desagües con la promulgación de la Ley de Prevención de Inundaciones y Protección a las Vertientes Hidráulicas del 4 de agosto de 1954. Esa ley autorizó al Departamento de Agricultura para cooperar con los estados y agencias locales, a fin de planear y llevar a cabo programas de mejoramiento en relación con la conservación de tierras y otros fines, incluyendo el desagüe de las mismas.

En las etapas iniciales de las obras de desagüe, las zanjas de descarga se construían a mano o con yuntas de bueyes y escariadores. Con esos métodos el tipo de zanja que podía construirse económicamente no podía ser mayor de 5 pies de profundidad y el ancho del fondo rara vez excedía de 4 pies. A medida que aumentó la importancia de los proyectos, esas zanjas no podían proporcionar el desagüe necesario.

Se buscó entonces un método económico para la construcción de grandes zan-

jas abiertas, y en 1883 se diseñaron las primeras dragas de cucharón que se emplearon extensamente por muchos años. En 1906 se substituyeron esas dragas de cucharón con las excavadoras de cable que continúan empleándose hasta la fecha y que son máquinas muy flexibles. Se construyen en muchos tamaños y pueden excavar zanjas de 3 a 150 pies de ancho de fondo y de 3 a 20 pies de profundidad, en forma eficiente y económica. Generalmente los nuevos modelos de excavadoras de cable tienen motores "Diesel" y están montadas en carriles de oruga.

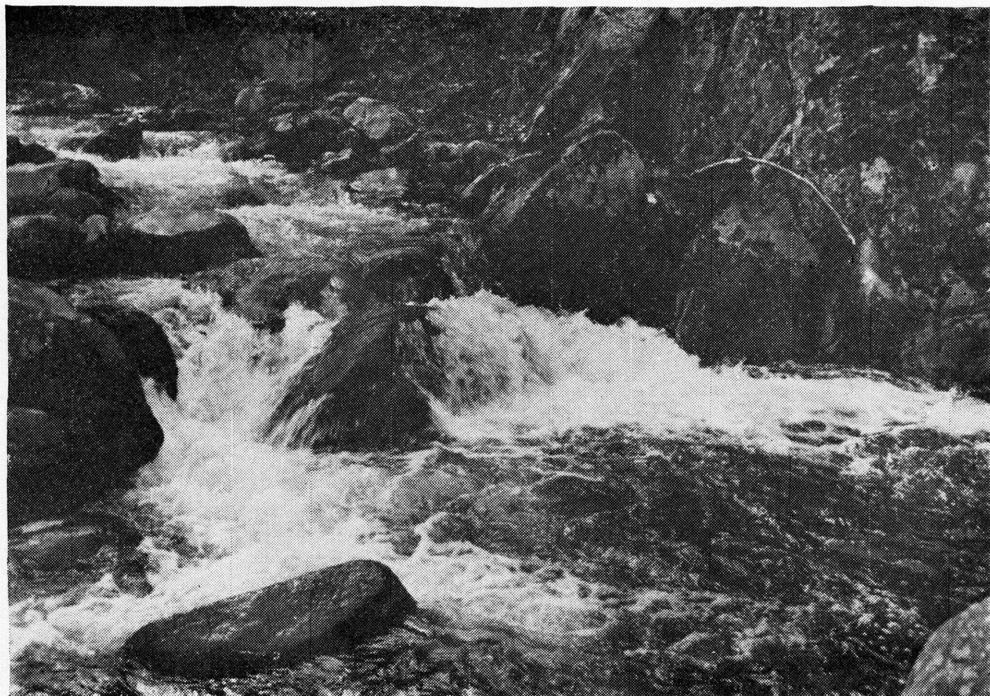


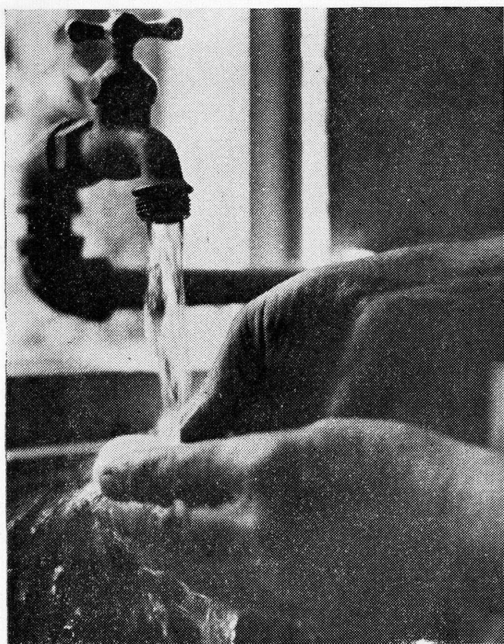
Características de precipitación y tendencias. Las tendencias de precipitación comparativas a largo plazo tienen un efecto significativo en el desarrollo de la tierra. Se da el promedio de peso de la precipitación de año en año desde 1892 a 1953, en porcentajes de variación de lo normal para las cuatro áreas mencionadas en las tablas. El área uno comprende 11 estados del Oeste o estados montañosos y del Pacífico; el área dos, los 6 estados de las Grandes Planicies de North Dakota a Texas; el área tres, los estados del Norte, incluyendo la zona productora de maíz y los estados de los lagos y del Norte, y el área cuatro, los estados del Sur, incluyendo los del delta del Mississippi y los estados del sudeste de los Apalaches.



El agua puede ser majestuosa

y feliz.







Agradable,

creadora de vida y purificadora.



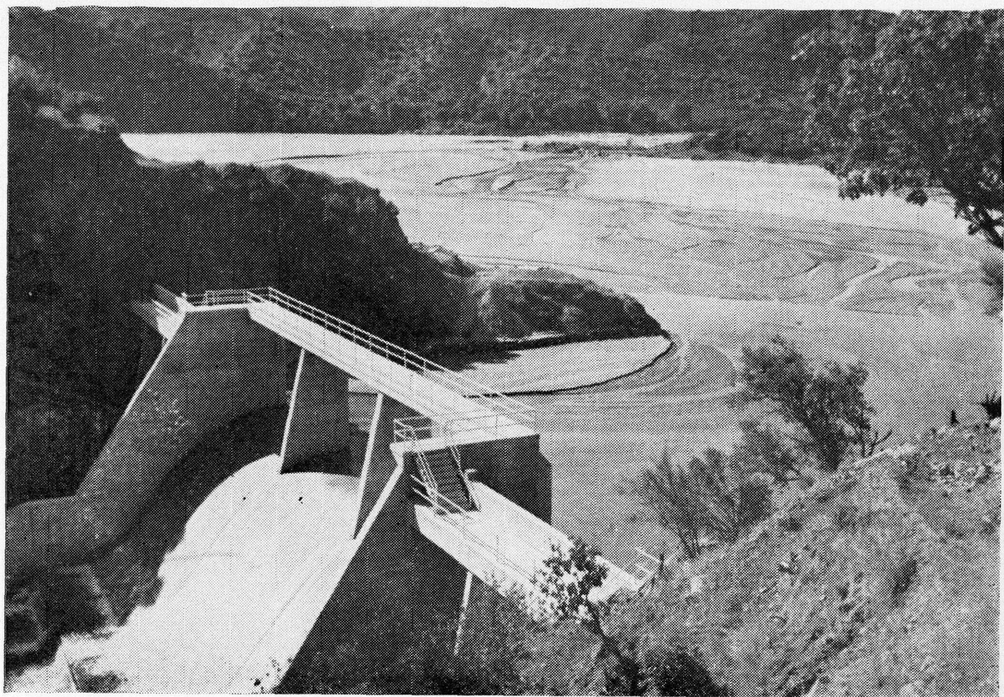
Productiva

y poderosa.

Pero para asegurar todo esto, debemos proteger nuestras vertientes hidráulicas contra un uso excesivo

y contra incendios.





Contra otros tipos de utilización inadecuada, que llenan las presas de cieno,

o producen rápidas crecientes que ponen en peligro las ciudades.



Podemos reconstruir las vertientes hidráulicas dañadas abriendo surcos para detener el desbordamiento de las lluvias

abriendo zanjas transversales para detener el agua.



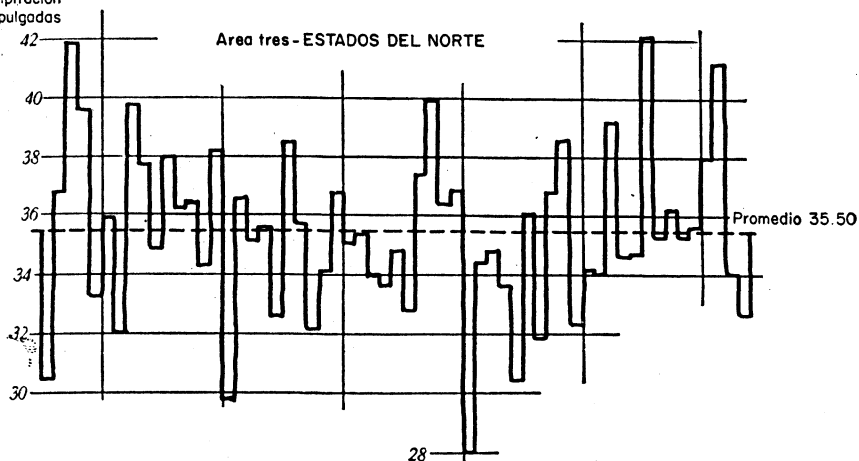
Sembrando hierba

y árboles, y empleando otros medios de conservación que recomendamos en este libro.

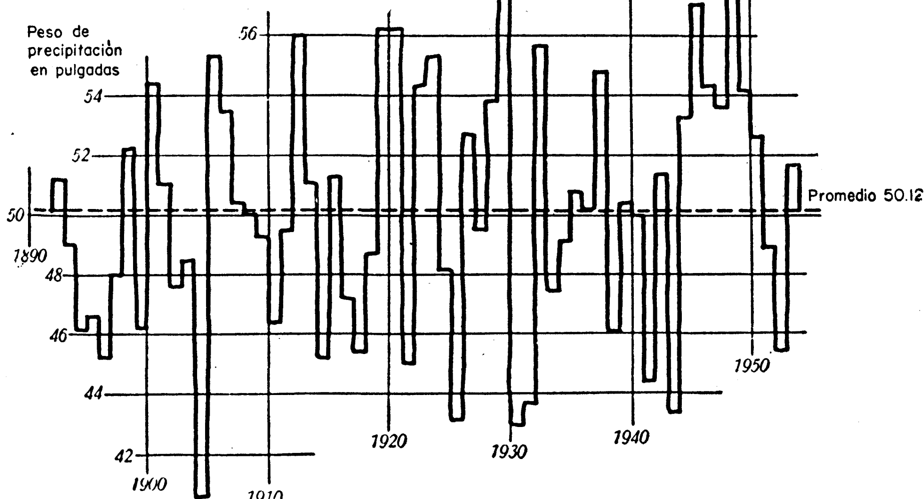
Así pues, la elección es nuestra: hondonadas, que desperdician nuestros recursos,

o agua agradable, productiva y útil — agua bajo control.

CARACTERISTICAS DE PRECIPITACION Y TENDENCIAS



Area cuatro-ESTADOS DEL SUR



Más o menos hasta 1880 todos los desagües de barro se fabricaban a mano. A medida que aumentó el tamaño y la profundidad de los desagües de ladrillo se hizo necesaria una máquina para excavar trincheras, y en 1883 salió al mercado la excavadora perpendicular de trincheras, movida por un motor de vapor. Poco tiempo después se construyeron otros modelos de esas máquinas, también con motores de vapor. Nuestras modernas máquinas excavadoras de trincheras son descendientes de aquéllas. Las máquinas más pequeñas pueden excavar trincheras hasta de 4.5 pies de profundidad y aproximadamente de 1 pie de ancho. Los modelos más grandes excavan trincheras hasta de 6 pies de profundidad y 1.5 pies de ancho. Cuando funciona eficientemente bajo condiciones normales, una buena excavadora de trincheras puede abrir de 2,000 a 3,000 pies de trincheras por día.

El empleo de las ruedas de desagüe movidas por fuerza animal para desaguar las tierras bajas sin necesidad de salidas de gravedad fue práctica común en las plantaciones de la costa del Golfo, especialmente en las azucareras, y alrededor de 1850 comenzaron a usarse bombas. A medida que los proyectos se hicieron mayores, las bombas centrífugas de baja succión reemplazaron gradualmente los demás tipos. La bomba de tornillo sinfín se desarrolló en 1915 y se usa extensamente en los proyectos de bombeo más importantes.

Los periodos en que aumenta el desagüe de las tierras, medidos por la superficie que se añade a las empresas de desagüe, coinciden generalmente con los periodos de precipitación normal y superior a la normal. Por ejemplo, la precipitación fue muy abundante en el Valle del Mississippí y los estados del Este desde 1900 a 1925, y entonces se desaguaron grandes superficies de tierras agrícolas. De 1925 a 1940, cuando la precipitación fue menor, los desagües tuvieron menos actividad y el aumento de lluvias en la década de 1940 nuevamente dio mayor impulso a los desagües.

La tabla que se da al final de este capítulo muestra los pesos del promedio de precipitaciones en variaciones de la normal en cuatro regiones de los Estados Unidos de Norteamérica, desde 1892 a 1953. Un examen de las gráficas pondrá al descubierto ciertas tendencias interesantes comparadas con la tabla que muestra el desarrollo de los desagües y la utilización de tierras en las empresas de desagüe en diversos periodos.

Los periodos de actividad mayor que la normal en los desagües de tierras han coincidido generalmente o han seguido a los periodos de demanda excesiva y de incremento de precios de los productos de granja. Por ejemplo, la construcción de desagües fue excesiva de 1909 a 1929, cuando la demanda de producción de las granjas iba en aumento y cuando los precios y las entradas eran considerablemente mayores que los de las décadas precedentes. Los costos de labranza y los de construcción, incluyendo salarios, fueron también mayores durante el periodo de producción elevada y de gran actividad en los desagües; pero durante los periodos de precios bajos en las granjas se hizo cierta construcción de desagües y otros tipos de mejoras en las granjas, a fin de aumentar la superficie productora de cosechas y conservar las utilidades derivadas de las granjas. La producción de ellas ha variado mucho menos que los precios entre los periodos de abundante y escasa demanda.

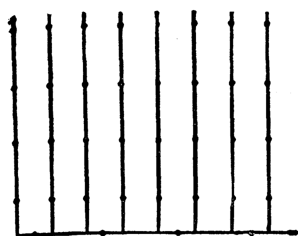
El Registro de Indices de Construcción de las Noticias de Ingeniería muestra que de 1910 a 1929 los costos de construcción en total eran menores del 40% de los que estuvieron en vigor desde 1949 a 1953. Los precios que pagaron los agricultores por materiales de construcción y mano de obra de 1910 a 1929 eran aproximadamente el 50% de los que pagaron de 1940 a 1953.

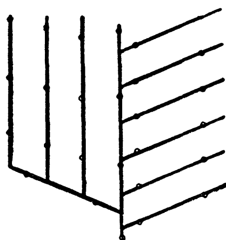
Los millones de acres que antes estaban demasiado húmedos para cultivarse se cuentan desde su recuperación entre las tierras agrícolas más valiosas del país. Otros millones de acres adicionales en donde las pérdidas de cosechas se debían frecuentemente al desagüe inadecuado, están ahora produciendo normalmente.

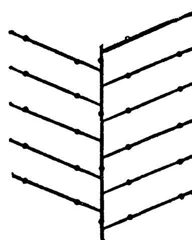
Veintiún condados del noroeste de Ohío y el nordeste de Indiana en el área en donde había originalmente muchas tierras bajas imposibles de cultivar, comprenden ahora una de las regiones más productivas del país. De acuerdo con el censo de 1950, esa área produjo para su venta más de 225 millones de dólares de productos agrícolas en 1949.

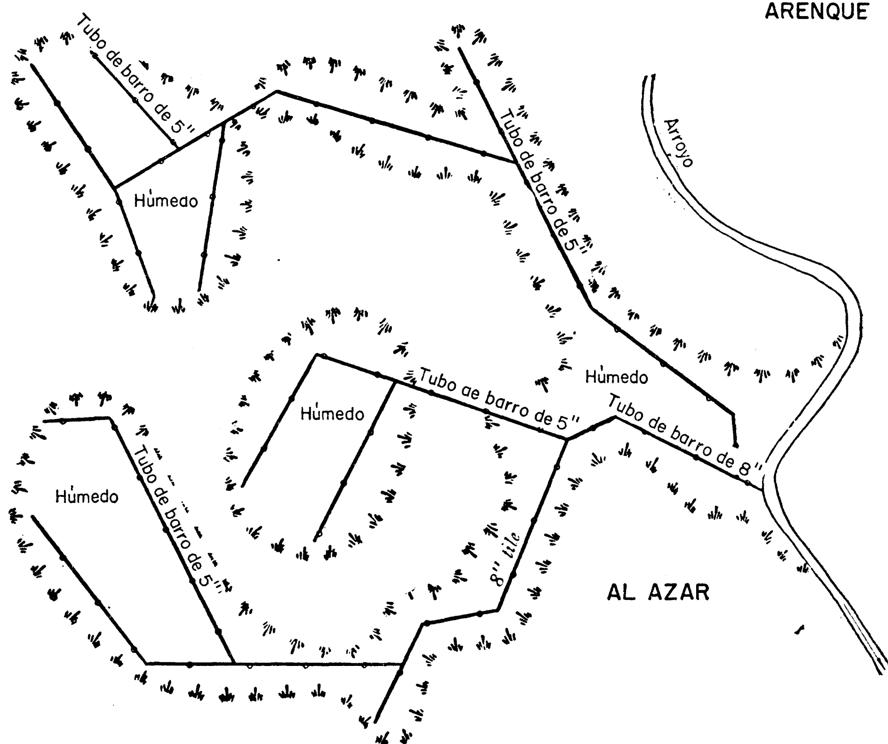
La parte central del norte de Iowa tiene extensas áreas de tierras planas que comprenden aproximadamente el 90% de 11 de los condados agrícolas más ricos de Iowa. Cuando esas tierras se poblaron, muchas de ellas consistían de pantanos superficiales que se inundaban tanto en muchas estaciones que no podían cultivarse. El resto de esa región podía cultivarse, pero los rendimientos de las cosechas generalmente eran bajos debido a la falta de salidas de desagüe. Las obras de desagüe se iniciaron poco tiempo después de que se pobló el área, y actualmente esa extensa región está

TIPOS DE DESAGÜES DE TUBO DE BARRO


PARALELO

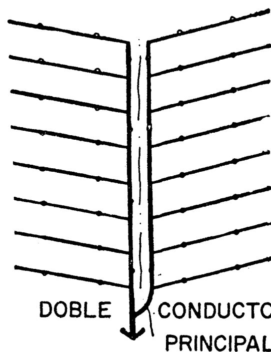

PARRILLA


ESPINA DE ARENQUE

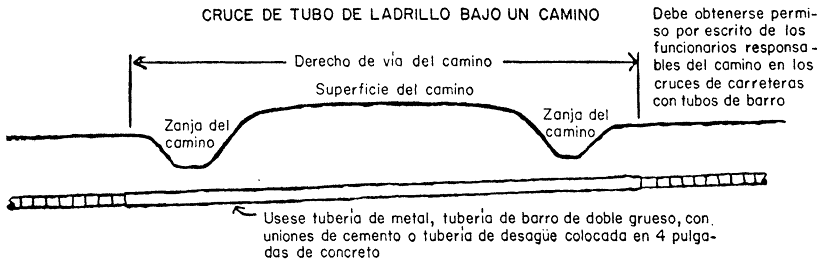


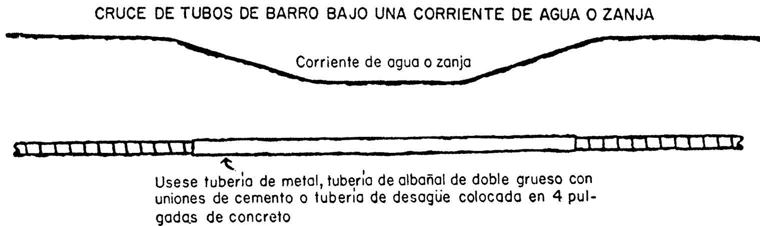
AL AZAR

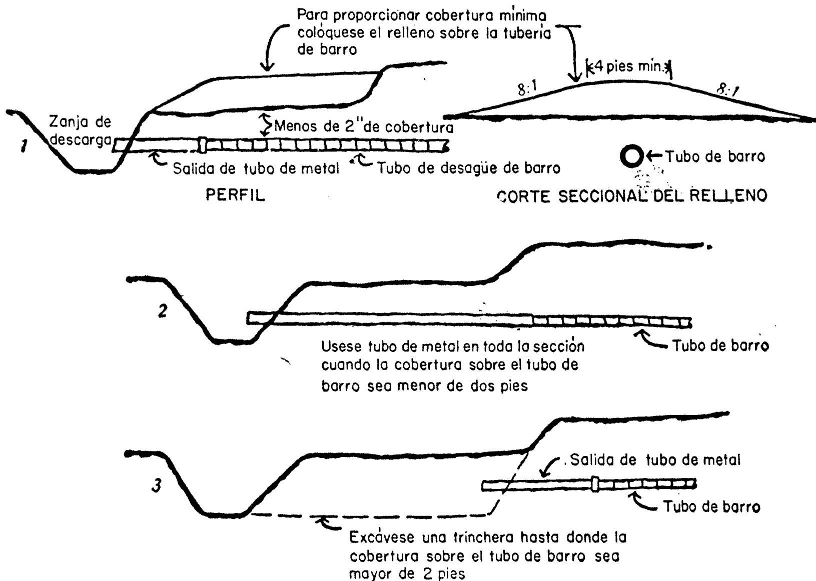

AGRUPADO


DOBLE CONDUCTO PRINCIPAL

CRUCES DE TUBOS DE BARRO Y MANEJO DE SALIDAS SUPERFICIALES DE BARRO







incluida en las empresas de desagüe y cuenta con las salidas necesarias. En 1949 los productos agrícolas cultivados y vendidos en esa área tuvo un total aproximado de 200 millones de dólares, y por lo menos el 50% de esa producción habría sido imposible sin desagües.

En el sudeste de Missouri, un distrito de desagüe de 400,000 acres, juntamente con otros distritos pequeños, cubre gran parte de las áreas agrícolas de cinco condados. En 1909, antes de que hubiera desagües, las únicas tierras que se cultivaban eran las pequeñas parcelas que se en-

contraban a lo largo de los arroyos, cultivándose menos del 5% de la tierra, y el resto consistía de terrenos pantanosos. Las obras de desagüe se iniciaron alrededor de 1912, y en la actualidad se cultiva el 95% de esa área, que incluye algunas de las tierras más valiosas de Missouri. El valor de los productos de granja vendidos en el área en el año de 1949 fue mayor de 75 millones de dólares.

Originalmente grandes áreas en el oeste de Minnesota, el centro de Illinois, el nordeste de Arkansas, las planicies del Golfo en Texas y las áreas del delta en Mississippí y Louisiana, consistían de pantanos y áreas de desbordamiento, y el desagüe hizo posible su cultivo.

Se calcula que el desagüe ha añadido de 50 a 60 millones de acres de tierras pantanosas fértiles a las áreas cultivables de los Estados Unidos de Norteamérica, y que se ha aumentado la producción de 75 a 100 millones de acres adicionales.

Se han cometido algunos errores: Se han desaguado algunas tierras de poco valor agrícola y se han dañado también para la fauna. En otras áreas, los proyectos de desagüe fueron poco satisfactorios y demasiado costosos. En algunos sitios no se hicieron provisiones para el control de sedimentos o para el mantenimiento de las zanjas u otras obras, destruyéndose las obras de desagüe en unos cuantos años.

CADA ESTADO TIENE ALGUNAS TIERRAS que pueden mejorarse por medio del desagüe, pero las mayores áreas de tierras húmedas se encuentran en la mitad oriental del país. El total de una gran superficie que podría desaguarse se encuentra en el Sudeste, en los lechos de los arroyos y ríos y a lo largo de la costa del Atlántico. El Valle del Mississippí tiene miles de acres adicionales de aluvión que pueden mejorarse para ser cultivados a medida que se necesiten. En los estados de los lagos y en la zona productora de maíz hay todavía muchas buenas tierras en potencia que podrían dejarse en mejores condiciones para su siembra por medio del desagüe.

Se calcula que hay que desaguar aproximadamente 20 millones de acres de tierras fértiles no desarrolladas, si se desea hacer de ellas tierras agrícolas. Aproximadamente 7 millones de acres de esas tierras desaguables se encuentran en las tierras bajas y fértiles del río Mississippí, en Arkansas, Louisiana y Mississippi. Otros 7 u 8 millones de acres se encuentran esparcidos en las planicies costeras y otras regiones del Sudeste; pero si todas esas tierras se mostraran en el mapa, el espacio punteado aumentaría aproximadamente en una quinta parte y en el Sudeste probablemente sería más del doble. No todas las tierras inundadas son adecuadas para desaguarse, y hay por lo menos 75 millones de acres de tierras húmedas en los Estados Unidos de Norteamérica que no son apropiadas para la agricultura en las actuales condiciones, pero que pueden utilizarse para la fauna, para bosques y con fines recreativos.

HUGH H. WOOTEN *ha estado encargado de las investigaciones sobre utilización de tierras en la Sección de Tierras y Aguas del Servicio de Investigaciones Agrícolas desde 1942.*

LEWIS A. JONES *se ha dedicado a trabajos agrícolas de desagüe durante más de 40 años, primeramente como ingeniero civil encargado de varios proyectos de desagüe y durante los 7 últimos años como encargado de investigaciones de desagüe del Servicio de Conservación de Tierras.*

Problemas técnicos y principios de desagüe

T. W. Edminster y J. van Schilfgaarde.

EL EXCESO DE AGUA se convierte en un problema cuando interfiere con las operaciones de labranza, la preparación de la tierra, el desarrollo de las plantas y las operaciones de recolección.

Gran parte del exceso de agua se remueve naturalmente por desbordamiento superficial, filtración profunda, evaporación y transpiración; pero a menudo esos procesos son demasiado lentos para evitar que ocurran daños a las cosechas

y los agricultores deben acudir al desagüe para remover el agua más rápidamente.

Definimos el desagüe agrícola como la remoción por medios artificiales del exceso de agua del perfil del suelo para fomentar la producción agrícola, o de modo más específico, como la remoción del exceso de agua de gravitación del suelo. La palabra "exceso" implica que el agua de desagüe no puede considerarse como perdida, ya que nunca estuvo disponible para el crecimiento de las plantas. La palabra "gravitación" indica que el agua de desagüe no se mantiene en la tierra por fuerzas distintas de la gravedad.

Los sistemas superficiales de desagüe se destinan primordialmente a remover el agua que está en la superficie y que no ha penetrado al perfil del suelo. Esto se hace desarrollando el declive de la tierra de modo que el exceso de agua fluya por gravedad a un sistema de zanjas superficiales de campo que descargan en zanjas principales más grandes que llegan hasta un punto conveniente para la disposición del agua.

Se considera como desagüe subsuperficial la remoción del agua que ya ha penetrado al perfil del suelo. Por lo tanto, el desagüe por medio de zanjas abiertas remueve el agua superficial, pero se clasifica como desagüe subsuperficial porque las zanjas afectan el movimiento del agua del suelo en igual forma que las cañerías o tuberías de barro colocadas a la misma profundidad.

Esencialmente cualquier problema de desagüe debe considerarse como una combinación de remoción de aguas superficiales y subsuperficiales, ya que son interdependientes, y la planeación para una de ellas sin tener en cuenta la otra dará por resultado sistemas que son ineficientes e ineficaces. La solución de un problema de desagüe depende también de la aplicación de principios modernos de manejo de tierras y cosechas que conserven la estructura de la tierra y una elevada fertilidad.

EN LO QUE AFECTAN AL CRECIMIENTO y reacción de las plantas, los requerimientos de desagüe se determinan por los efectos del exceso de humedad sobre la ventilación (la cantidad de aire en la tierra), la temperatura de la tierra, la actividad biológica, la estabilidad estructural de la tierra, la química del suelo y los problemas generales de manejo de tierras y cosechas.

En aquellas localidades donde el desagüe constituye un problema, a menudo se ven cosechas raquíticas con hojas amarillentas en las partes bajas de un campo en las que la tierra ha quedado saturada. Si el exceso de agua permanece en ellas por algún tiempo, las plantas generalmente mueren. Esas condiciones son consecuencia primordialmente de daños a las raíces causados por los reducidos suministros de oxígeno y la acumulación de bióxido de carbono, con los efectos consiguientes en las relaciones entre la tierra y las plantas. Esos efectos adversos no se deben necesariamente a la presencia directa del exceso de agua, ya que las cosechas no sufren aun cuando se les cultive totalmente en agua si pueden obtener aire.

La ventilación de la tierra es una función del tamaño de sus partículas y de la disposición de las mismas, así como del grado de saturación o contenido de humedad de la tierra. Si los poros mayores quedan libres de agua de manera que el nivel de agua quede bajo la capacidad de campo, la difusión de gas puede efectuarse satisfactoriamente. Sin embargo, cuando el perfil se satura, baja la proporción de difusión.

A medida que continúan ocurriendo en la tierra la descomposición y otras actividades biológicas, baja el nivel de oxígeno y aumenta el de bióxido de carbono. Esa proporción de intercambio en el equilibrio gaseoso se acelera en condiciones de altas temperaturas de la tierra, debido a la proporción de actividad biológica más rápida. El efecto de la temperatura explica por qué a menudo son menos perjudiciales las inundaciones de invierno que las de verano. Por ejemplo, los estudios efectuados en New York han demostrado que las inundaciones de invierno causan pocos daños a los huertos si se proporciona un desagüe adecuado

antes de que las hojas inicien la transpiración.

Los aumentos en el contenido de bióxido de carbono y la disminución del contenido de oxígeno de la atmósfera de la tierra bajo condiciones de saturación, afecta de varios modos a diferentes cosechas. El trigo es intolerante a la baja disponibilidad de oxígeno en la tierra, pero en cambio aumenta el desarrollo del arroz cuando la tierra está saturada. Las plantas que resisten a la saturación tienen en sus tallos tejidos especializados conductores de aire, que mueven una atmósfera normal hacia abajo hasta el sistema de raíces.

Los elevados niveles de humedad disminuyen también el consumo de elementos nutritivos de las plantas. El crecimiento restringido de las raíces limita el volumen de tierra del que las plantas pueden obtener elementos nutritivos. Igualmente, cuando la ventilación es escasa pueden acumularse concentraciones tan altas de hierro y manganeso reducidos que resulten tóxicas para las raíces. La descomposición de la materia orgánica cuando la ventilación es mala, puede producir también sulfuro de hidrógeno, gas que es tóxico para las raíces.

La desnitrificación ocurre también rápidamente en tierras saturadas, aparentemente debido a la competencia de nitrógeno entre los microorganismos del suelo que se propagan en tierras saturadas, y a la disminución de las cantidades de organismos nitrificantes debida a la falta de ventilación.

Los tejidos de las plantas que crecen en tierras que se han mantenido cerca del punto de saturación contienen menos proteínas en bruto, lo que indica que se ha destruido el equilibrio de nitrógeno en la tierra. Los porcentajes de potasio, magnesio y clorina, pero no de calcio y fósforo, son menores en las hierbas que crecen en tierras saturadas.

La mala ventilación y un elevado contenido de humedad que ordinariamente se presentan juntos en tierras mal desaguadas, afectan directamente la ocurrencia y gravedad de algunas enfermedades de las plantas. Los cambios de equilibrio entre el oxígeno y el bióxido de carbono afectan el crecimiento y longevidad de los organismos productores de enfermedades. Las plantas que quedan debilitadas por las condiciones de la tierra son también más susceptibles a la infección. Ejemplos de esto son la podre negra de la raíz de las fresas, las podres de las raíces de los cereales y las de la raíz del Fusarium de la remolacha de azúcar.

La temperatura de la tierra, que depende de muchos factores, tales como la cantidad y tipo de radiación recibida del sol, la exposición, cantidad de sombra y contenido de humedad de la tierra, está estrechamente relacionada con la proporción de movimiento y retención de humedad de la tierra. La temperatura afecta también la proporción de absorción de elementos minerales nutritivos y de agua por las plantas, su germinación, brote de los retoños, periodos de reposo en las plantas y proporción de maduración posterior de las semillas. Las bajas temperaturas de la tierra restringen el desarrollo de las raíces, causando ordinariamente un crecimiento áspero, escasas raíces laterales y muy pocas raicillas, y reducen la actividad biológica de la tierra, lo que a su vez disminuye la proporción de producción de nitrógeno disponible.

Las tierras húmedas son muy lentas para calentarse con una cantidad determinada de aplicación de calor. El calor que se requiere para elevar un grado la temperatura de una libra de agua, produciría un aumento de temperatura semejante aproximadamente en 5 libras de tierra mineral seca o en 4 libras de tierra orgánica. Esta elevada capacidad de calentamiento del exceso de agua en la tierra es la razón de que en uno de los estudios efectuados se haya encontrado que la absorción de calor utilizada durante un periodo de 24 horas para evaporar el agua de una tierra saturada, haya elevado aproximadamente en 24 grados la temperatura de una tierra semejante con un contenido óptimo de humedad. Esto hace aparente el efecto que tiene el desagüe en el calentamiento de primavera de las tierras y en las condiciones relativas de temperatura del suelo en lo que afectan al crecimiento de las cosechas.

La saturación frecuente o prolongada afecta la estructura del suelo, o sea la disposición de las partículas de tierra. La mala estructura encontrada en esas condiciones puede atribuirse principalmente a la falta de actividad biológica, a la disminución de la actividad de las raíces y a la ausencia de los ciclos de secado y humedecimiento. Se ha notado una considerable mejoría en la estructura a medida que comienza a funcionar el desagüe. A menudo se destruye la estructura de la tierra o su capacidad de cultivo cuando las operaciones de labranza o recolección se llevan a cabo en tierra demasiado húmeda, y el desagüe ayuda a eliminar ese riesgo.

El manejo de tierras alcalinas y la recuperación de tierras inundadas depende en gran parte del desarrollo de desagües adecuados en todo el perfil de la tierra, a fin de permitir el lavado o movimiento rápido hacia abajo de las sales acumuladas. El desagüe también debe ser adecuado para controlar el nivel de la meseta de agua, a fin de que no haya peligro de que las sales se concentren en la zona de raíces debido a su movimiento ascensional desde el agua salada del suelo. Por lo tanto, el sistema de desagüe debe proyectarse para conservar la meseta de agua a una profundidad razonable bajo la zona de raíces y para que sea capaz de remover del perfil del suelo la cantidad de agua que debe pasar a través del mismo para lavar las sales acumuladas por los riegos e inundaciones, además de otras que puedan acumularse en la tierra.

Otros aspectos prácticos e importantes del desagüe incluyen la prolongación de la estación de crecimiento al permitir la labranza y fechas de siembra más tempranas, y la eliminación de las costosas demoras en el funcionamiento de la maquinaria que ocurren en los periodos de labranza y recolección debidas a áreas húmedas en los campos.

Hay que tener en consideración dos factores al proyectar un sistema de desagüe. El primero consiste en la conversión de los problemas de tierras y agronomía a requisitos específicos de desagüe, tales como proporción de disminución de la meseta de agua, profundidad de ésta bajo la superficie, y grado, extensión y frecuencia de las fluctuaciones del nivel de la meseta de agua. El segundo consiste en el problema de determinar el significado de las mediciones de la posición de la meseta de agua como índice de las condiciones de desagüe en el perfil de la tierra.

Puede determinarse más fácilmente la posición de la meseta de agua barrenando un pozo de observación a cierta profundidad debajo de ella. La altura a que suba el agua en el pozo mostrará el punto de presión atmosférica y, por lo tanto, la localización de la meseta de agua. Debido a la sencillez de su determinación en el campo y también a la simplificación del análisis teórico, la meseta de agua se ha usado generalmente como criterio de desagüe. Sin embargo, la región que se encuentra inmediatamente arriba de la meseta de agua está todavía tan cerca a la saturación que la tierra de la misma no cuenta con desagüe adecuado. La extensión de esa capa sobre la meseta de agua y su grado de humedad dependen del número y tamaño de los poros de la tierra, así como de su historia de humedad; es decir, si la tierra está secándose o humedeciéndose. Por lo tanto, la mesta de agua realmente es un mal índice de las condiciones de desagüe.

Puede considerarse el sistema de tierra a través del cual fluye el agua de desagüe como una serie de pequeños canales interconectados en los que el agua se mueve por gravedad a pesar de las fuerzas de fricción producidas por las paredes de esos canales.

El grado de movimiento de agua es proporcional a la energía motriz, e inversamente proporcional a la longitud del trayecto y a la resistencia al flujo ejercida por la tierra. Esta relación puede demostrarse perfectamente por medio de un medidor de permeabilidad, que consiste en una columna de tierra de altura L colocada en un cilindro de manera que pueda ponerse sobre ella una capa de agua de espesor constante t. La parte inferior desagua libremente en un tubo que descarga al aire a una altura H bajo el nivel del agua libre. El grado de flujo

Q a través del aparato es proporcional a la altura H que representa la magnitud de la energía motriz y al corte seccional a, y es inversamente proporcional a la altura L de la muestra. Puede demostrarse fácilmente la dependencia de H cambiando el espesor t o ajustando la altura del tubo de descarga y midiendo el grado de flujo resultante. A la altura H se le llama carga hidráulica, ya que representa la carga o altura de agua que tiende a empujarla a través de la tierra.

Esta relación se conoce como ley de Darcy, y puede expresarse por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = KaH/L,$$

o en otra forma más útil en muchos casos, como sigue:

$$v = KH/L.$$

Hemos introducido dos nuevos símbolos en esas ecuaciones. Se llama K a la conductividad hidráulica de la tierra y representa la medida de la resistencia total al flujo desarrollado por la tierra. El símbolo v significa la velocidad de flujo o el grado de descarga por unidad de área, o sea $Q = av$.

Si se introducen en la tierra dos tubos de pequeño diámetro y si se extrae la tierra dentro de ellos, la diferencia de altura a que el agua se elevará en los mismos representa la energía motriz o carga hidráulica que causa el movimiento desde el extremo de un tubo al del otro. La distancia entre esos extremos corresponde a L en la ley de Darcy, y si se conoce la conductividad puede calcularse la velocidad del agua entre los dos puntos.

Además de la ley de Darcy, el flujo de agua a través de la tierra debe satisfacer la ley de conservación de la materia, que exige que la masa total de agua que satura un pequeño volumen de tierra durante cualquier intervalo de tiempo debe ser igual a la masa que entra a ese volumen durante el mismo periodo. Como el agua no puede comprimirse, podemos leer "volumen de agua" en vez de "masa de agua" en el razonamiento anterior. La combinación de la ley de Darcy con la de conservación, da por resultado una expresión matemática relativamente sencilla, la ecuación de Laplace, que constituye la base de la mayoría de los trabajos teóricos de desagüe. Si se conoce la carga hidráulica en un número suficiente de puntos (por ejemplo, a lo largo de la superficie del agua libre y de los desagües), puede calcularse en teoría por medio de la ecuación el valor de la carga hidráulica, y, por lo tanto, el de la velocidad de cualquier punto arbitrario dentro de la tierra. De esa distribución de la velocidad puede evaluarse la eficacia del sistema de desagüe.

Todas las soluciones exactas de problemas específicos de desagüe se basan en alguna aplicación de la ecuación de Laplace, que es un buen instrumento en manos de un matemático experto, aunque su manipulación no es muy sencilla.

Sólo dos propiedades de la tierra caen explícitamente dentro del tratamiento matemático de los problemas de desagüe, la conductividad hidráulica K y la porosidad.

Como ya lo dijimos, a menudo se define la conductividad hidráulica como la constante K en la ley de Darcy, y puede apreciarse en el laboratorio por medio de un medidor de permeabilidad. Es una propiedad de la tierra, así como también del fluido que se mueve a través de ella y de grado de saturación del mismo. El medidor de permeabilidad mide solamente la conductividad saturada, y se necesita un equipo más complicado para determinar su valor a diferentes niveles de saturación.

Cuando el análisis se restringe al flujo bajo la meseta de agua, es suficiente una medición de la conductividad hidráulica de saturación. Sin embargo, es bien sabido que una porción considerable del flujo de agua hacia los sistemas de desagüe ocurre sobre la meseta de agua de la región llamada borde capilar. Para evaluar esa porción del flujo total debe conocerse la relación de la conductividad hidráulica al grado de saturación.

La porosidad, o más bien el volumen de poros que se desaguan a tensiones variables, determina el grado de saturación a cualquier altura dada sobre la meseta de agua, y en consecuencia, la conductividad hidráulica del borde capilar. Es también importante la porosidad cuando se trabaja con una meseta de agua movible. El rendimiento de agua en el

caso de una meseta que desciende o la cantidad absorbida en el caso de una meseta que asciende, depende del volumen de los poros desaguados. Para mayor sencillez, frecuentemente se supone que los poros desaguados a una tensión de 50 ó 60 centímetros, se desaguan o llenan instantáneamente cuando se llena la meseta de agua; pero esa suposición es sólo una mala aproximación, ya que en realidad el porcentaje de poros desaguados varía continuamente con la tensión y por lo tanto, con la altura sobre la meseta de agua. Aunque la cifra de 50 centímetros puede ser lo suficientemente exacta para determinar el rendimiento de agua, tiene naturalmente poco valor para calcular la contribución del borde capilar al grado de desagüe.

Además, el análisis matemático debe suponer que las propiedades de la tierra son constantemente uniformes en toda la región de interés, o por lo menos que varían de modo regular, que puede expresarse en forma de ecuación. Naturalmente, ninguna tierra satisface esas condiciones y, por lo tanto, cualquier solución matemática sólo puede considerarse como aproximación.

UNO DE LOS PRIMEROS USOS de la ecuación de Laplece aplicada a los problemas de desagüe se basó en la similitud del flujo de electricidad a través de un conductor eléctrico con el flujo de agua a través de un medio poroso. Puede verse esta analogía comparando la ley de Ohm, $I=E/R$, con la ley de Darcy, $Q=av=aKH/L$. La corriente I en un sistema eléctrico puede compararse con el grado de flujo Q de un sistema hidráulico, que a su vez es equivalente al producto av del área seccional por la velocidad. La resistencia eléctrica R corresponde a la resistencia hidráulica L/Ka, y el voltaje E a la energía motriz H. Empleando esta analogía puede construirse y probarse un modelo eléctrico que corresponda a una conducción hidráulica de interés en los desagües, interpretándose el resultado en términos de flujo de agua y no de corriente eléctrica.

Este método, que se conoce como método de analogía eléctrica, ha dado una serie de soluciones a los problemas que comprenden la forma de equilibrio de la meseta de agua arriba de los desagües de barro paralelos, obtenida a una proporción constante de lluvias para diferentes valores de conductividad hidráulica, tamaño y espaciamiento de los desagües, profundidad a una capa impermeable, etc. Se ha usado también para estudiar el efecto de la anchura de las hendiduras entre desagües adyacentes y aun para seguir el movimiento descendente de la meseta de agua desde una posición de equilibrio cuando cesan las lluvias.

Un inconveniente de este método consiste en que se supone que los desagües funcionan bajo presión o por lo menos que funcionan llenos. Esa situación nunca debe ocurrir en un sistema de desagüe bien proyectado, pero se requiere para que la analogía sea válida. Otra desventaja del método consiste en que debe hallarse una solución separada para cada caso, mientras que el método matemático generalmente da una solución que se aplica a una serie de problemas.

LA SOLUCIÓN MATEMÁTICA se discute de manera conveniente en dos partes: Primeramente están los casos que son independientes del tiempo y que incluyen condiciones tales como proporción constante de lluvias o tierras con agua estancada en la superficie, y que se llaman problemas de situación estable.

La segunda clase comprende problemas inestables, tales como la caída o ascenso de una meseta de agua.

Se aplican los mismas principios tanto a los problemas estables como a los inestables. La distribución de la carga hidráulica en toda la región de flujo se determina mediante la ecuación de Laplace, si pueden especificarse las condiciones en los límites de esa región. En los casos estables, las condiciones de límite permanecen constantes con el tiempo, y en los inestables, varían con el tiempo.

Uno de los problemas estables más sencillos comprende el flujo de agua hacia un pozo vertical cilíndrico a través de un estrato saturado y permeable limitado arriba y abajo por una capa impermeable. La distribución de carga hidráulica en este

caso se expresa como H=C log. r, en donde L es una constante que depende de la conductividad hidráulica y de las condiciones del pozo, y el logaritmo de r representa el logaritmo de la distancia r de cualquier punto al centro del pozo. Aplicando esta ecuación del pozo, pueden analizarse gran número de problemas de desagüe.

Este método de análisis permite encontrar la distribución de carga hidráulica para un solo desagüe colocado en tierra homogénea que quede saturada hasta la superficie. Este mismo procedimiento puede extenderse a soluciones de rendimiento para distribuciones de cargas hidráulicas en una serie de desagües paralelos, o para uno o más desagües situados sobre una capa impermeable. Aunque la técnica necesaria se hace más difícil y tediosa, el principio permanece el mismo. Este método sólo puede proporcionar soluciones exactas en casos en que la meseta de agua es plana.

El método odográfico es otra solución que se ha aplicado con éxito a los problemas estables y hace uso del plano odográfico, que es una proyección de la velocidad a lo largo de los límites de la región de flujo relacionada con un sistema de desagüe en un plano que tiene como ejes los componentes de velocidad horizontal y vertical. El método comprende la proyección de la región de flujo en el plano odográfico, y luego la igualación de la región original de flujo con su semejante odográfico mediante una serie de transformaciones de conformación, obteniéndose con este procedimiento la distribución de carga hidráulica. El procedimiento requiere una habilidad considerable y sólo se ha aplicado en cierto número de casos limitados. Sin embargo, ha dado una solución general para la posición de la meseta de agua en condiciones de equilibrio sobre una serie de desagües paralelos de barro colocados en tierra homogénea en proporciones constantes de lluvia y filtrado profundo. La solución se aplica también a una proporción constante de evapotranspiración en vez de lluvia, y al movimiento artesiano ascensional en vez de filtrado profundo.

El método de relajamiento es el tercero que ha dado soluciones de importancia en estados estables. En principio es simplemente una determinación práctica del valor de la carga hidráulica en los puntos de intersección de una rejilla colocada en la región de flujo. El método requiere mucho trabajo, aunque se ha encontrado una técnica que disminuye considerablemente el tiempo requerido. Sin embargo, permite la solución de numerosos problemas con cualquier grado específico de precisión.

Se han descrito brevemente tres métodos empleados para obtener soluciones exactas de los problemas de situación estable, y con los tres se han obtenido conocimientos importantes en relación con el comportamiento de los sistemas de desagüe. Sin embargo, los tres tienen las mismas limitaciones. Primeramente, nunca se encuentran condiciones estables en el campo, aunque las halladas en algunas regiones húmedas se aproximen a la estabilidad. Segundo, al igual que la analogía eléctrica, las aplicaciones se limitan a casos en que los desagües van llenos. Por lo tanto, se ha encontrado que la situación odográfica en lluvias continuas sólo se aplica exactamente a proporciones de lluvia y valores de conductividad que quedan fuera de las condiciones de importancia práctica. Sin embargo, se obtienen buenas soluciones aproximadas en casos prácticos. Tercero, los análisis suponen condiciones uniformes de tierra, aunque en el campo la homogeneidad es la excepción y no la regla. Finalmente, la forma de la mayoría de las soluciones exactas es tal que no se presta fácilmente a su uso diario por los ingenieros en condiciones de trabajo.

En vista de las objeciones encontradas, parece justificarse el empleo de soluciones más sencillas y aproximadas en gran número de casos. Probablemente la solución aproximada que se emplea más extensamente es la ecuación de elipse. Esta ecuación, que se deriva de las suposiciones de todo flujo es horizontal y que la velocidad de flujo es proporcional al declive de la meseta de agua, no satisface la ley de conservación de masas ni la de Darcy. Aunque su uso se limita

a aquellas condiciones en que una capa impermeable se encuentra a poca profundidad bajo los desagües, y aunque solamente se use para determinar la altura media de la meseta de agua entre los desagües y no la forma de ella, se ha encontrado que proporciona resultados sorprendentemente exactos. El peligro al emplear esta ecuación consiste en no apreciar sus limitaciones. En casos en que no existe una capa impermeable, o cuando no está cerca de los desagües, se ha encontrado una sencilla solución aproximada basada en la ecuación de pozos mencionada antes. En casos intermedios se ha encontrado un método que es una combinación de las dos. Con un buen criterio, estas sencillas soluciones son de gran valor, pero nunca debe olvidarse su naturaleza aproximada.

El desarrollo de soluciones a las situaciones inestables ha tenido mucho menos éxito y la inclusión del tiempo como factor variable complica grandemente el análisis.

Se ha demostrado que el método de relajamiento puede extendese de las aplicaciones estables a las inestables, considerando los casos transitorios como una serie de estados sucesivos independientes del tiempo. En teoría, este método permite la solución de gran número de casos especiales con la precisión deseada, pero es tan tedioso que los esfuerzos necesarios limitan grandemente su valor práctico.

Todas las demás soluciones propuestas son de naturaleza aproximada. Las suposiciones semejantes a las que se emplean en la ecuación de elipse llevan a una ecuación que se llama frecuentemente ecuación de flujo de calor, en vez de llegar a la ecuación de Laplace. Las soluciones basadas en ella tienen el serio inconveniente de que no toman en cuenta el efecto de convergencia del flujo en los desagües de barro y que sólo pueden usarse cuando ocurre una capa impermeable cerca de ellos. Sin embargo, parece que esas soluciones son las que actualmente hay disponibles.

Se han propuesto algunas otras soluciones basadas en suposiciones de flujo radial que expresan que toda el agua fluye linealmente hacia los desagües, pero dan resultados tan imprecisos que es dudoso que tengan valor alguno.

La relación que existe entre las investigaciones y los problemas prácticos de campo para el diseño de desagües a veces es difícil de apreciar, y a menudo se sugiere que todas las investigaciones en el campo de los desagües deben encaminarse hacia la experimentación de campo. Sin embargo, si esto se hiciera, se perderían muchas de las bases vitales sobre las que pueden desarrollarse con éxito los estudios de campo. Por ejemplo, un problema primordial en el diseño de desagües es la determinación de la profundidad adecuada y espaciamiento de los desagües. Aunque no se ha encontrado solución a este problema en gran parte de los Estados Unidos de Norteamérica, la práctica empleada en Europa occidental consiste en calcular la profundidad y espaciamiento empleando mediciones de campo de la conductividad hidráulica, usando para ello las soluciones aproximadas de soluciones estables que ya hemos discutido. La falta de uniformidad de las lluvias, juntamente con las condiciones variables de tierra encontradas en este país, son la causa de las dificultades existentes. Sin embargo, se espera que a medida que se conozcan métodos de medición y evaluación para esos factores variables de tierras y lluvias, serán de primordial importancia las soluciones teóricas a los problemas de movimiento de aguas.

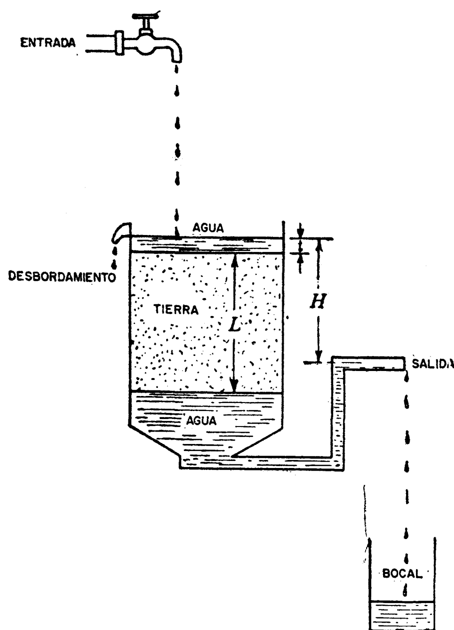
Los riegos de intercepción y los de tierras sumamente estratificadas que tienen capas con grandes diferencias de conductividad han ocasionado muchos problemas a los ingenieros de campo. Aunque los estudios de campo han dado cierta guía para la colocación adecuada de desagües en esas condiciones, esos problemas sólo se comprendieron hasta que se aplicó a ellos un detallado análisis teórico.

El efecto de la amplitud del espaciamiento de las hendiduras sobre la eficiencia de los desagües de barro es una cuestión ampliamente discutida en el campo. Por medio de un método combinado de

cálculos teóricos y mediciones de campo se obtuvo evidencia de que si se duplicaba el ancho de las hendiduras entre los tubos de desagüe adyacentes, se aumentaba la proporción de flujo en los desagües aproximadamente en un 10%. Por lo tanto, los tubos de desagüe espaciados a distancias de un sesentaicuatroavo de pulgada, espaciamiento normal cuando se instalan tubos de cara lisa unos contra otros, removerán aproximadamente un treinta por ciento menos de agua en un periodo de tiempo determinado que los tubos espaciados a un octavo de distancia cuando la tierra está completamente saturada.

La combinación del análisis teórico con los estudios de campo ha hecho posible también una valiosa contribución a la evaluación del efecto de tamaño de los desagües, efectos de las coberturas de grava alrededor de los mismos y efectos de la presión artesiana en el espaciamiento de ellos. En cada caso los estudios teóricos han contribuido mucho al conocimiento y aplicabilidad de los resultados de las experimentaciones de campo.

Es esta discusión se ha dado énfasis a



Un medidor de permeabilidad.

la investigación de una base teórica para los diseños de campo de los sistemas de desagüe. En toda solución científica a cualquier problema, esto es de primordial importancia, y se reconoce que el diseño de desagües nunca será una ciencia exacta, ya que siempre requerirá un criterio lógico basado en experiencias locales. La heterogeneidad de la tierra, la naturaleza de las fluctuaciones climatológicas y los cambios en las condiciones económicas excluyen la posibilidad de un sistema absolutamente racionalizado. Sin embargo, el buen entendimiento de los principios básicos puede ayudar al técnico de campo a hacer una evaluación más lógica y precisa de los factores involucrados.

T. W. EDMINSTER *es ingeniero agrícola de la Sección Oriental de Manejo de Aguas y Tierras de la Rama de Investigaciones Agrícolas en Beltsville, Maryland.*

J. VAN SCHILFGAARDE *se ha especializado en la aplicación de principios físicos teóricos a la investigación de los problemas de desagüe y desde 1954 ha sido ingeniero investigador de desagües, empleado conjuntamente por la Estación Agrícola Experimental de North Carolina y la Rama de Investigaciones Sobre Conservación de Tierras y Aguas de los Servicios de Investigación Agrícola en Raleigh, North Carolina.*

Los sistemas para desaguar la superficie

K. V. Stewart, Jr., y I. L. Saveson.

EL DESAGÜE SUPERFICIAL se emplea para remover el exceso de lluvias en sitios planos en los que el agua se mueve demasiado lentamente a través del suelo para proporcionar un desagüe adecuado. La fuerza de gravedad mueve el agua en flujos superficiales ordenados.

La necesidad del desagüe depende del declive y de la tersura de la superficie. La tierra plana, falta de declives, hace que el exceso de agua se mueva demasiado lentamente.

Las depresiones y barreras, la falta de

tersura, significan que se retendrá el exceso de agua, y el agua retenida se vuelve estancada porque sólo se remueve por infiltración dentro de la tierra o por evaporación, y ambos procesos pueden ser muy lentos.

La topografía de las tierras agrícolas varía principalmente debido a los procesos geológicos generales. La mayor parte de las tierras agrícolas de los deltas presentan cicatrices de los flujos de las inundaciones tales como lodazales, depresiones y superficies irregulares que se deben a la desigual distribución de los materiales transportados por las aguas. En la parte norte de los Estados Unidos de Norteamérica esas variaciones pueden atribuirse a influencias glaciales. Los depósitos que dejaron las capas de hielo en fusión causaron muchas depresiones y bordos en la superficie de la tierra.

Otra causa de las irregularidades de la superficie es la falta de nivelación de la tierra después de la labranza para remover las huellas dejadas por los implementos de cultivo. A menudo la roturación y cultivo de las tierras de granja en el mismo sentido una estación tras otra, deja agujeros en los que se entierran los implementos de labranza amontonando la tierra cuando salen de ella. La disposición inadecuada de los desechos de bordos en las excavaciones de zanjas, tanto de salida como de desagüe de campo, ha producido muchos montículos que causan estancamientos, y la presencia de aguas estancadas después de las fuertes lluvias indica una superficie irregular.

Los estudios e investigaciones efectuados en la Estación Agrícola Experimental de Louisiana sobre la nivelación de tierras de caña de azúcar para mejorar su desagüe, demostraron la relación que existe entre el número y superficie de las irregularidades en las que se estanca el agua con los rendimientos. Los campos con una superficie uniforme produjeron 4.59 toneladas más de caña que las tierras en las que el 53% de su superficie consistía de irregularidades con profundidades de dos pulgadas o más.

El planeamiento adecuado debe dar por resultado un sistema de desagüe que permita la máxima absorción efectiva de agua y su almacenamiento en la tierra, y que remueva el exceso de lluvias sin producir grandes cantidades de erosión, a fin de que las pasturas, el heno y las cosechas de surco tengan las mejores condiciones de humedad posibles.

Hay dos formas de remover el agua de las tierras con superficies irregulares llenas de depresiones, a fin de obtener un desagüe superficial adecuado. Una de ellas consiste en instalar suficientes zanjas de campo para desaguar cada depresión individual, y la otra consiste en conformar y nivelar la tierra.

A menudo se necesitaría una cantidad excesiva de zanjas de campo para desaguar cada depresión. Además, se restaría una superficie considerable al cultivo, subirían los costos de mantenimiento de las zanjas y se harían más complicadas las operaciones agrícolas.

Por lo tanto, el sistema más lógico consiste en nivelar y conformar la tierra para proporcionar una superficie que no interfiera con el movimiento, remoción y distribución del agua superficial, y después de hacer esa nivelación, instalar suficientes desagües de campo y zanjas laterales para llevar el exceso de las lluvias a las zanjas de salida.

Muchos sistemas superficiales de desagüe de granjas funcionan como sistemas combinados de desviación y de desagüe. El desbordamiento de las tierras más altas se desvía a zanjas inferiores y se lleva a las salidas de desagüe, y esto impide que se acumule el exceso de agua en las áreas más bajas y permite la remoción del desbordamiento en todas las partes de un campo en proporciones uniformes.

En las granjas pequeñas en algunos campos en donde hay disponible una salida adecuada, el sistema de desagüe puede ser relativamente sencillo. La sencillez y adaptabilidad deben ser las metas de todo buen sistema de desagüe de granjas.

El tipo de sistemas de desagüe superficial que se instale depende de la topografía, tipo de tierra, preferencias del agricultor, tipo de labranza, clase de labranza que se emplee, sistema de caminos vecinales y métodos que se usen para la conservación de las zanjas.

Zanjas de declive transversal espaciada a 100 pies de distancia con declives de 4% aumentando a 150 pies a medida que el declive disminuye a 0.5%.

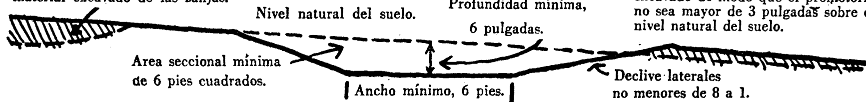
Las zanjas de declive transversal deben construírse a través de la pendientes, tan rectas y paralelas como lo permita la topografía, con cortes limitados a través de las proctuberancias y montículos.

Zanja lateral de salida.

Después de que se han construído las zanjas, confórmese el área entre ellas, lo que eliminará todas las pequeñas depresiones y montículos que obstruyen el libre flujo del agua superficial a las zanjas de declive tranversal. Las zanjas laterales de salida generalmente deben estar cubiertas de vegetación.

Zanja principal de salida o corriente.

SECCION TIPICA DE FONDO PLANO



SECCION TIPICA DE CANAL EN V.



Un agricultor que planee un sistema de desagüe debe pensar en un sistema completo que proporcione salidas continuas de desagüe desde las plantas individuales más alejadas en las cosechas de surco y desde las depresiones más lejanas hasta la salida de desagüe.

LAS ZANJAS SUPERFICIALES para el desagüe de las granjas consisten ordinariamente de desagües de campo que recogen el agua de los surcos de las cosechas o de la superficie de la tierra, y la llevan a zanjas laterales o de recolección, de ellas a las zanjas principales y de allí a las corrientes naturales o artificiales que las arrastran.

En la forma que se usa aquí el término "desagüe de campo" significa una zanja superficial poco profunda con declives laterales planos que permite el paso de los implementos de labranza. Se le de-

signa ordinariamente como desagüe sencillo de campo si sólo hay una zanja, o como desagüe doble de campo, zanja en W o zanja gemela, cuando se localizan dos desagües paralelos de campo a poca distancia uno de otro.

Se usa el desagüe sencillo de campo si el material excavado de la zanja puede colocarse en el lado más bajo de manera que no obstruya el desagüe de los surcos o la entrada del agua superficial. Se usa también en sitios en donde el material excavado se coloca en las depresiones cercanas.

Se usa el desagüe doble de campo en sitios donde el agua de los surcos y el agua superficial entran desde ambos lados y no se usa el material excavado para rellenar depresiones. Ordinariamente el material excavado se coloca entre los desagües y se conforma para permitir la labranza y el paso de los implementos de cultivo.

Normalmente los desagües de campo tienen de 9 a 12 pulgadas de profundidad, con un máximo de 18 pulgadas. Los declives laterales tienen una proporción mínima de 4 a 1, y son preferibles de 6 a 1 o todavía más planos.

El espaciamiento de los desagües de campo debe tener en cuenta las tierras y la topografía. Si ésta es ondulada, su localización queda más o menos obligada por ella. Si la superficie es uniforme, los tipos de tierra determinan el espaciamiento. Una práctica común consiste en espaciar los desagües de campo a una distancia aproximada de 400 pies en las tierras arcillosas más pesadas, y aproximadamente a 1,000 pies en las tierras arenosas más ligeras.

Las zanjas laterales o de recolección recogen el agua de los desagües de campo y las llevan a las zanjas principales de salida. Ordinariamente son más profundas que los desagües de campo y generalmente tienen un pie o más. Comúnmente tienen declives laterales planos para facilitar el paso del equipo de labranza, la siega y el mantenimiento. Sin embargo, en algunas regiones del país se construyen en forma de caja con declives laterales muy pendientes. En algunas tierras los bordos pendientes son más estables que en otras.

Las zanjas principales recogen el agua de las laterales y las llevan a las salidas naturales o artificiales de desagüe. Generalmente las zanjas principales se construyen por medio de dragas de cable, y ordinariamente requieren una planeación y supervisión considerable por ingenieros experimentados para que funcionen debidamente.

No se pueden dar reglas fijas para la localización de cada zanja, ya que cada campo constituye un problema individual. Ordinariamente las zanjas principales se localizan en las depresiones naturales, y si éstas no existen o están muy lejos una de otra, las zanjas se localizan a intervalos de acuerdo con la topografía, las características de la tierra, los linderos de las granjas, caminos y otras características físicas.

Es muy importante la alineación exacta de las granjas y debe cuidarse de hacer las secciones rectas tan largas como sea posible, a fin de permitir la máxima eficiencia hidráulica. Las zanjas deben ser rectas siempre que lo permitan la topografía y las condiciones de campo, y es conveniente localizarlas paralelamente unas a otras a fin de que no haya surcos en punta. Al localizar las zanjas debe evitarse que formen esquinas pequeñas e inaccesibles en los campos.

Ordinariamente el sistema de zanjas consiste de desagües de campo, zanjas laterales, zanjas principales y salidas de desagüe.

El tipo de sistema de desagüe que se emplee se determina por la topografía, el tipo de labranza y la clase de cosechas que se cultiven.

SE USA EL SISTEMA REGULAR o paralelo en sitios en donde la superficie es uniforme y hay pocos bordos o depresiones notables. Puede planearse el sistema en tal forma que las zanjas queden en ángulo recto con los desagües de campo y espaciadas uniformemente. A esto se le llama sistema regular o paralelo, y es el método de desagüe superficial más conveniente, ya que se adapta perfectamente al campo y elimina los surcos cortos o

en punta. Es muy adecuado para el empleo de maquinaria agrícola de cuatro surcos.

A menudo un estudio de los campos que se consideraban inadecuados para el empleo del sistema regular descubrirá la posibilidad de adaptación de la mayoría de sus características deseables. Un ejemplo de esto es el uso de zanjas paralelas laterales con la mayoría de los desagües de campo en ángulo recto, pero localizándose algunos de ellos en depresiones poco profundas que forman meandros de una lateral a otra.

El sistema al azar se emplea en sitios en los que la superficie de la tierra queda interrumpida por una serie de bordos y depresiones, o sea una superficie ondulada. En el sistema al azar la localización de las zanjas laterales depende de la topografía. A menudo es necesario instalar una o más zanjas laterales adicionales entre las depresiones naturales, si las distancias son demasiado grandes para obtener un buen desagüe.

El sistema de camas se emplea extensamente en pasturas, campos de heno y de cosechas de surco, y se adapta a campos con declives muy escasos, comúnmente de 0.5% o menores, con tierras lentamente permeables. Comprende una serie de bordos o camas paralelos. La superficie se conforma y nivela de modo que el desbordamiento desagüe lateralmente desde esos bordos o camas en surcos muertos, de ellos a las zanjas transversales de recolección, y finalmente a la zanja principal de salida.

Es conveniente construir las camas con los surcos muertos en el sentido del mayor declive. Como las zanjas de recolección pueden excavarse a una pendiente determinada, se localizan en forma aproximadamente perpendicular al declive.

Generalmente el cultivo de cosechas de surco en los surcos muertos es poco productivo. El ancho de las camas se proyecta de acuerdo con el ancho de los surcos y el tipo de equipo de labranza que vaya a usarse, a fin de evitar pérdidas innecesarias de tierra y un amontonamiento de los surcos en la proximididad de los surcos muertos.

Para que este sistema funcione satisfactoriamente todos los surcos muertos deben tener un declive continuo sin puntos altos o bajos que interfieran con un desagüe adecuado. Deben conformarse y nivelarse las camas o bordos a fin de que no haya depresiones que puedan retener agua.

El sistema de zanjas de declive transversal se asemeja al de terracerías. Se construyen los desagües de campo alrededor del declive, con una pendiente uniforme que no produzca erosión. El método se adapta a campos que tienen mal desagüe interno de la profundidad de arado hacia abajo, con un gran número de depresiones poco profundas que ordinariamente no hacen aconsejable el empleo del sistema de camas.

Los desagües de campo se construyen tan rectos y paralelos como lo permita la topografía, con escasos cortes a través de los bordos bajos. Ordinariamente los desagües de campo se espacían a 100 ó 150 pies de distancia.

Los materiales excavados de los desagües de campo se colocan en los sitios más bajos. El material sobrante se extiende en la proximidad e inmediatamente abajo del lado inferior de los desagües de campo, de modo que el bordo resultante no tenga más de tres pulgadas sobre la superficie normal del suelo. El área entre los desagües de campo se conforma y nivela a fin de permitir el libre flujo del agua.

Si las pendientes son tan planas que no causen erosión, los surcos se localizan aproximadamente en sentido perpendicular a los desagües de campo.

Como regla general el sistema de zanjas de campo utiliza el método regular de declive transversal. Las zanjas son más profundas que las que se emplean en otros métodos superficiales, y, por lo tanto, proporcionan desagüe tanto para aguas superficiales como subsuperficiales.

Este sistema se adapta a las tierras más permeables y puede emplearse en tierras vegetales y de turba en las que

no pueden colocarse tubos de barro, así como en arenas profundas de permeabilidad moderada o elevada que tiene una meseta de agua alta. Debido a la profundidad de las zanjas, rara vez permiten el paso de los implementos de labranza. Se recomienda llenar las áreas bajas con materiales excavados y conformar y nivelar la tierra.

Ordinariamente los surcos se colocan paralelos a las zanjas. Deben emplearse desagües de campo para llevar el agua de los surcos a las zanjas, proporcionando la protección necesaria por medio de salidas o vertederos.

El sistema de la caña de azúcar se ha empleado durante un siglo en el área azucarera de Louisiana. Se construyen zanjas laterales que se conocen como zanjas divididas en el sentido del declive general de la tierra y ordinariamente paralelas. Su espaciamiento varía de 100 a 250 pies, y tienen de 18 a 36 pulgadas de profundidad, siendo aproximadamente de 4 pies de ancho en la parte superior y de 2 pies en el fondo.

Si la topografía lo permite, las zanjas divididas se extienden ordinariamente hasta un punto en donde el desbordamiento del campo sea igual a la capacidad de la zanja, y en ese punto se interceptan con una zanja transversal.

Los surcos de caña tienen ordinariamente de 12 a 18 pulgadas de alto y 6 pies de ancho, y se trazan paralelamente a las zanjas divididas.

El agua de los surcos se lleva por medio de pequeños desagües transversales o auxiliares a las zanjas divididas. Los desagües auxiliares se localizan generalmente contiguos a los senderos de los campos o a los surcos de vuelta, así como en depresiones poco profundas. Un desagüe auxiliar es un pequeño desagüe de campo, generalmente recto, construido a través de los surcos con un arado u otro implemento semejante de labranza. Ordinariamente se emplea una pala para quitar la tierra amontonada en medio de los surcos. Las zanjas principales son grandes zanjas excavadas que conducen a pantanos, arroyos o canales de salidas de desagüe.

El sistema de desagüe de los arrozales funciona primordialmente para remover el exceso de agua de lluvias o las requeridas para inundar los campos. Es necesario un desagüe adecuado durante los periodos de preparación de las camas de semilla y de la recolección, y durante años alternados en que los campos se dejan en barbecho. Se emplea también en cosechas de pasturas o de surcos.

El sistema de desagüe del arroz en la granja común consiste de zanjas principales y laterales y de desagües auxiliares.

El diseño de los sistemas superficiales de desagüe debe tener en cuenta la capacidad de desagüe de la tierra.

En las oficinas del Servicio de Conservación de Tierras se pueden obtener mapas que muestran las capacidades de las tierras.

Las características y propiedades de las tierras tienen una influencia importante en el diseño y construcción de zanjas superficiales. Deben tomarse suficientes muestras de tierra a lo largo de los sitios probables de localización de las zanjas para precisar los declives laterales y profundidades adecuadas, especialmente si las zanjas van a tener una profundidad mayor de 6 pies.

Debe conocerse la siguiente información antes de diseñar un sistema superficial de desagüe: Tamaño y naturaleza del área de desagüe; cuánto desbordamiento debe manejarse; periodo de tiempo en que debe removerse el desbordamiento; clases de cosechas que van a cultivarse; condiciones de la tierra en la que se van a excavar las zanjas; pendientes de la tierra a lo largo de la localización de las zanjas; suficiencia de las salidas de desagüe, y tersura de la tierra.

Probablemente los peores problemas de desagüe se presentan en las tierras bajas contiguas a colinas erosionadas. La tierra que se deslava de ellas deposita sedimentos en las zanjas y en las tierras bajas, no debiendo desaguarse esas tierras hasta que se haya detenido la erosión por medio de prácticas de conservación del suelo.

La mayoría de los ingenieros u organizaciones que efectúan operaciones

de desagüe utilizan curvas de desbordamiento que se preparan para cada localidad y que tienen en cuenta las lluvias, topografía, tierras y cosechas. Las proporciones de remoción varían de acuerdo con las necesidades de las cosechas y con las condiciones locales.

Deben investigarse las condiciones de salida de los sistemas de descarga de las granjas para determinar si son adecuadas para el desagüe.

En muchas localidades se acostumbra proyectar la superficie planeada del agua en las zanjas como perfil, comenzando en la salida y avanzando corriente arriba. El perfil proyectado representa el gradiente de energía que produce velocidad y también la altura de la superficie del agua en la mayoría de las zanjas de desagüe de baja velocidad, y se conoce como gradiente hidráulico o línea de pendiente.

El gradiente hidráulico se mantiene tan cerca de la superficie del suelo como las condiciones lo permitan, pero a la altura de las áreas principales que deban desaguarse o ligeramente debajo de ellas. Se exceptúan de lo anterior las zanjas profundas para el control de aguas subsuperficiales o mesetas de agua en las que se necesita mayor profundidad.

Puede no ser posible o práctico proporcionar un desagüe adecuado en todas las áreas pequeñas, y a veces puede ser más económico rellenarlas con los materiales excavados.

Es buena práctica mantener constante el gradiente hidráulico o hacerlo que aumente en dirección de la corriente, es decir, que las velocidades resultantes sean constantes o que vayan aumentando; pero esto puede no ser siempre posible debido a la topografía, a las tierras o a los costos.

DEBEN DISEÑARSE LAS SECCIONES transversales de las zanjas de acuerdo con los métodos de mantenimiento propuestos, el equipo de construcción que se emplee y las características del suelo. Las zanjas deben diseñarse de acuerdo con la sección más eficiente en términos de capacidad de transportación, pero teniendo en cuenta las tierras y la practicabilidad de la construcción y mantenimiento. Las zanjas construidas en arcillas y margas arcillosas han funcionado satisfactoriamente con declives laterales de 1.5 a 1, y se usan declives de 0.5 a 1 o más planos en sedimentos no estratificados o en margas sedimentarias.

Las zanjas de menos de 4 pies de profundidad, construidas en tierras bajas de margas arenosas, tienen ordinariamente declives laterales de 2.5 a 1. Los declives casi verticales han dado buenos resultados en tierras vegetales y de turba.

Las zanjas profundas que se conservan por medio del pastado tienen declives laterales lo suficientemente planos para que pueda entrar el ganado, generalmente de 2 a 1, o más planos.

Al diseñar las zanjas debe tenerse en cuenta el equipo que se use para su mantenimiento, ya sea por medio de incendios o aspersiones químicas. A veces se emplean declives tan pronunciados como de 0.5 a 1.

Se han empleado dragas de cable para excavar zanjas de desagüe. Se prefieren porque pueden permanecer en terreno sólido lejos de los canales que van a excavarse.

Las trincheras que se construyan por medio de dragas de cable deben tener fondos de un ancho igual o superior al de los cucharones de las dragas. Pueden también excavarse con dragas de cable las zanjas con fondos en V.

Las zanjas laterales que se abran por medio de conformadoras o equipo ligero y que se conserven mediante la siega o el pastado, ordinariamente tienen fondos en V con declives laterales de 3 a 1 o más planos. Se usan también fondos planos.

Cuando las excavaciones se hacen con escariadoras, puede emplearse la sección en V o pueden diseñarse los fondos a la anchura de los carriles de las escariadoras. Los declives laterales de las zanjas construidas con escariadoras deben ser lo suficientemente planos para que las máquinas funcionen en ellos, siendo ordinariamente de 3 a 1 o más planos.

En muchos sitios es necesario descargar agua de una zanja poca profunda a otra de mayor profundidad, o descargarla de una zanja a un riachuelo, arroyo o salida de desagüe más bajos, requirién-

Areas de tierras niveladas o levemente onduladas que pueden desaguarse con pequeñas zanjas de fondo plano con declives laterales de 2 a 1, que deberán estar llenas de agua

(Calculadas de acuerdo con la Fórmula Manning, n = 0.045.)

Profundidad de la zanja (Pies)	*Ancho inf. zanja Pies*	*Ancho sup. zanja Pies*	*Excavación por 100 pies Yardas cúb.*	*Area desaguada por zanjas con pendientes de 100' por*									
				0.02 pie	*0.04 pie*	*0.06 pie*	*0.08 pie*	*0.1 pie*	*0.15 pie*	*0.2 pie*	*0.3 pie*	*0.4 pie*	*0.5 pie*
				Acre	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*
1.5	4	10	38.9	57	81	100	115	129	157	182	223	258	288
	6	12	59.0	78	110	135	156	174	214	247	302	350	390
2.0	4	12	59.3	102	145	177	205	229	280	324	397	459	[1] 510
	6	14	74.1	135	191	234	270	301	369	426	525	604	[1] 700
2.5	4	14	83.3	162	230	282	325	363	445	515	630	[1] 800	[1] 970
	6	16	101.8	209	296	362	419	467	570	675	965	[1] 1240	—

[1] La velocidad varía de 2.6 a 3.0 pies por segundo.
Tomado del Boletín de Agricultores núm. 2046 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, *Desagüe de Granjas.*

Areas de tierras planas o ligeramente onduladas que pueden desaguarse con zanjas de campo en V que corran llenas

(Calculadas de acuerdo con la Fórmula Manning, n = 0.045.)

Profundidad de la zanja (Pies)	*Ancho sup. zanja Pies*	*Declives laterales*	*Excavación por 100 pies Yardas cúb.*	*Area desaguada por zanjas con pendientes de 100' por*									
				0.02 pie	*0.04 pie*	*0.06 pie*	*0.08 pie*	*0.1 pie*	*0.15 pie*	*0.2*	*0.3 pie*	*0.4 pie*	*0.5*
				Acre	*Acre*	*Acre*		*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*	*Acre*
	6	3 a 1	11.1	10	14	17	20		28	32	39	45	50
1.0	8	4 a 1	14.8	13	19	23	27	30	37	43	53	61	68
	9	3 a 1	25.0	30	42	70	60	67	82	94	116	134	149
1.5	12	4 a 1	33.3	40	57	52	81	90	110	127	156	180	202
	12	3 a 1	44.5	64	91	111	128	143	176	203	249	287	321
2.0	16	4 a 1	59.3	87	123	151	174	194	238	275	338	390	436

dose estructuras de estabilización en esos sitios para el control de la erosión.

Las caídas bajas en tierras pesadas que tienen buena protección mediante el rápido crecimiento de nueva vegetación pueden tener declives hasta de uno por ciento. Otras localizaciones en tierras ligeras y más erosionadas en donde el nuevo crecimiento de vegetación nativa es lento, pueden requerir replantaciones, siembras o estructuras mecánicas si las caídas son de uno o dos pies.

La capacidad de una zanja se determina por su área seccional, gradiente hidráulico, coeficiente de aspereza y forma.

Las tablas al final de este capítulo dan una idea de las capacidades de las zanjas pequeñas.

Los bordos sólidos de refuerzo, ensanchados para formar un montículo bajo en ambos lados de las zanjas principales y laterales de granja, impiden que el agua fluya sobre los bordos de las zanjas y corra al azar. El agua debe penetrar en las zanjas por medio de entradas planeadas, evitando dificultades causadas por el enlodamiento de los declives laterales, la formación de hondonadas y los depósitos de sedimento resultantes en los canales.

Al construir un sistema de desagüe los

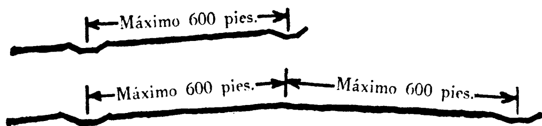
Los surcos son continuos a través del campo. No se siembre en el fondo de las zanjas. Límpiense los fondos de las zanjas con arados de pala o con rastras en V después de cada operación de labranza.

Direción de la siembra, cultivo y recolección

Las zanjas deben ser paralelas pero no necesariamente equidistantes y su espaciamiento depende de:

1. Longitud aconsejable de desagüe de los surcos par el tipo de tierra de que se trate.
2. Distancia y cantidad de tierra que haya que mover para proporcionar un desagüe completo de los zurcos.
3. La longitud máxima de las pendientes que descarguen en las zanjas debe ser de 600 pies.

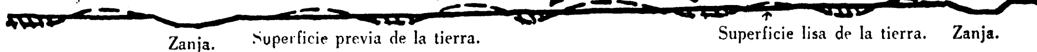
La zanja de salida debe tener aproximadamente un pie más de profundidad que las zanjas paralelas. Confórmense las pequeñas caídas a un declive que no cause erosión. Cuando ésto no sea posible o la zanja de salida sea muy profunda úsese un plano inclinado, vertedero de caída o tubo.



Sección Típica de la Superficie del Suelo que tiene muy poco o Ningún Declive General y que está Cubierta con gran Número de Pequeñas Depresiones y Hondonadas.

Alísese o confórmese el área entre las zanjas rellenando las depresiones y removiendo las barreras sin que sea necesario un declive uniforme. Es muy importante que todos los surcos desagüen de zanja a zanja.

Usense los materiales excavados de las zanjas para rellenar las depresiones más profundas o deposítense en el lado inferior de la zanja.

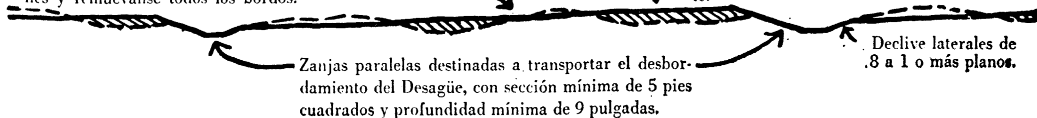


Zanja. Superficie previa de la tierra. Superficie lisa de la tierra. Zanja.

Sección Típica de la Superficie del Suelo que Tiene Cierto Declive General en un Sentido y está Cubierto de Gran Cantidad de Pequeñas Depresiones y Hondonadas.

Establézcase una pendiente mínima de 0.5% entre la zanja cortando el extremo inferior y rellenando el superior. Rellénense todas las depresiones y remuévanse todos los bordos.

Usense los materiales excavados de las zanjas como relleno para el establecimiento de la pendiente.



Zanjas paralelas destinadas a transportar el desbordamiento del Desagüe, con sección mínima de 5 pies cuadrados y profundidad mínima de 9 pulgadas.

Declive laterales de .8 a 1 o más planos.

bordos de refuerzo deben nivelarse o alisarse para facilitar el mantenimiento de las zanjas y para permitir el uso de esas áreas, que de otro modo se perderían. Generalmente, en esos bordos de refuerzo pronto crecen maleza y árboles que evitan la necesidad de equipo de mantenimiento.

LA CONFORMACIÓN Y EL ALISAMIENTO de la tierra es una de las prácticas de desagüe desarrolladas recientemente. Generalmente la superficie de la tierra se conforma para proporcionar una capa lisa dentro de su declive general. Las depresiones se rellenan con tierra excavada de las áreas altas o de las zanjas, y antes de las operaciones de conformación se determinan los sitios altos y bajos de las tierras por medio de una inspección topográfica o se localizan marcándolos después de las lluvias abundantes.

El trabajo de nivelación y conformación se hace mejor con equipo removedor de tierra, como escariadoras de ruedas y transportadores pesados. El transportador pesado se adapta para mover tierras a menos de 300 pies, y las escariadoras pueden transportarla a mayores distancias.

El equipo mejor adaptado para alisar la tierra después de que ha sido conformada es la niveladora de tierra que se diseñó para usarse en las tierras de riego de las regiones secas. A menudo se le considera equivocadamente como implemento para mover tierra; pero en realidad es un implemento de acabado que se ha desarrollado para alisar las superficies, que corrige pequeñas discrepancias en la conformación que no caen dentro de la capacidad del equipo pesado de remoción de tierra.

La mayoría de las áreas se conforma por medio de equipo de remoción de tierra más o menos a 2 pulgadas de la pendiente deseada, y después la niveladora de tierra termina la pendiente dentro de la longitud de trabajo de la máquina. La niveladora de tierra es una máquina práctica de funcionamiento automático que requiere un mínimo de pericia en su manejo. Puede usarse también en áreas conformadas más antiguas para disminuir las huellas dejadas por los implementos en cada ciclo de cosecha.

Las niveladoras de tierra se construyen en muchos tipos y tamaños para las diferentes clases de tierras y condiciones de labranza, y deben ser tan largas como sea practicable, porque su largo aumenta la influencia de nivelación sobre una área mayor. El tamaño de los campos y la energía disponible son también factores que hay que tener en cuenta.

Las pruebas de campo en muchas regiones han dejado al descubierto aumentos considerables en los rendimientos de tierras conformadas y alisadas. Las áreas de prueba conformadas y alisadas en Louisiana, dieron un promedio de 5.81 toneladas de caña de azúcar por acre más que las áreas de control sin nivelar durante el primer ciclo de caña. El segundo ciclo continuó mostrando un incremento sobre el área de control. En muchos casos el costo de conformación de las tierras azucareras quedó compensado con el aumento en rendimientos durante el primer año, tomándose como utilidad neta el aumento en rendimiento del segundo año. Los cultivadores han informado también que los implementos de labranza funcionan más fácil y eficientemente en tierras conformadas y alisadas.

De acuerdo con el Manual de Agricultura núm. 61 del Departamento de Agricultura, titulado *Manual de Conservación de Tierras y Aguas,* es posible la apertura de zanjas por medio de la dinamita casi en cualquier circunstancia. Generalmente el procedimiento es muy económico para la construcción de pequeñas zanjas o cortes en los canales de corrientes en tierras que no sean de grava o arena seca. La dinamita se adapta mejor para la construcción de zanjas en tierras blandas en las que se hundiría la maquinaria pesada, y en aquellos sitios en que la cantidad de tierra que hay que mover es demasiado pequeña para que sea costeable el empleo de máquinas excavadoras automáticas. Una tierra sedimentaria saturada que esté firme, pero no demasiado tiesa y libre de tocones y grandes raíces, es apropiada para la apertura de zanjas con dinamita. Los fabricantes de explosivos pueden dar direcciones detalladas para el empleo de

explosivos en la construcción de zanjas y para el manejo y almacenamiento de la dinamita.

EL MANTENIMIENTO ADECUADO y frecuente es necesario para que los sistemas de desagüe continúen funcionando debidamente.

Un método de mantenimiento comprende la remoción o control del crecimiento vegetativo. El pastado del ganado, con excepción de los cerdos, es muy eficaz; pero ese pastado generalmente tiene que suplementarse con siegas o métodos manuales para controlar las hierbas indeseables o perjudiciales y la maleza. A menudo es impracticable el cercar las zanjas en campos de cosechas de surcos, ya que en ellos las zanjas deben tener declives laterales planos para permitir la siega, que constituye una práctica recomendable. En Louisiana funcionan muy bien muchas zanjas que se siegan regularmente después de 8 años, sin necesidad de ningún otro método de mantenimiento.

Puede controlarse también la vegetación por medio de lanzallamas.

Las substancias químicas, entre ellas el 2,4-D y el 2,4,5-T, que destruyen la vegetación de las zanjas, se emplean cada vez más en los sistemas más grandes; pero sólo en menor proporción en los sistemas de desagüe de granjas, porque las aspersiones pueden esparcirse a los campos cultivados y dañar las cosechas.

En algunos sitios donde los sauces y álamos son perjudiciales, los retoños se sacan a mano, método costoso, pero que a menudo constituye el único medio de represión.

Para conservar un funcionamiento eficiente es necesaria la remoción de árboles caídos, desechos arrastrados por las aguas, bancos de sedimento y otros materiales que se acumulan en las zanjas.

El mantenimiento necesario y adecuado depende generalmente de las inspecciones regulares. Se debe inspeccionar el sistema inmediatamente después de las lluvias abundantes, para cerciorarse de que los puentes, alcantarillas, compuertas, intersecciones de zanjas y localizaciones en general se encuentren en buen estado.

K. V. STEWART, JR., *es ingeniero estatal de conservación del Servicio de Conservación de Tierras en Alexandria, Louisiana, y fue anteriormente ingeniero regional de desagüe del mismo Servicio en Fort Worth, Texas.*

I. L. SAVESON *es ingeniero de desagües del Servicio de Investigación Agrícola en Baton Rouge, Louisiana.*

Los desagües de ladrillo, su instalación y conservación

Keith H. Beauchamp.

LOS DESAGÜES DE LADRILLO remueven el exceso de agua de la tierra por medio de una línea continua de tubos colocada a profundidades y pendientes específicas. El agua libre penetra a través de las uniones de los tubos y fluye por gravedad de manera que la meseta de agua desciende bajo la zona de raíces de las plantas.

Los desagües laterales remueven el agua libre de la tierra. Los desagües auxiliares reciben el agua de un grupo de laterales y un desagüe principal lleva el agua de las tuberías desde los desagües auxiliares y laterales hasta la salida.

Los desagües de ladrillo debidamente planeados e instalados se convierten en una mejora permanente que necesita poco mantenimiento. Debe tenerse cuidado en su planeación y conservación a fin de que se instale el sistema mejor y más económico, sobre todo si se tiene en cuenta que los tubos quedan enterrados y que los defectos de funcionamiento son difíciles de localizar y costosos de reparar.

GENERALMENTE SE NECESITA una inspección precisa del campo que se va a desaguar para determinar el sistema más eficiente de desagües laterales y principales. Esa inspección debe determinar la pendiente del desagüe principal, a fin de que el tamaño de la tubería sea apropiado para la cantidad de agua que va a desaguarse. El sistema de tubería debe planearse para manejar toda el área húmeda que pueda desaguarse eventualmente por medio de un solo desagüe princi-

pal, aun cuando únicamente vaya a instalarse tubería en una parte de ella.

Un sistema de desagües principales cortos y laterales largos es más económico porque los desagües principales requieren tuberías de mayor diámetro y más costosas. Para obtener un desagüe uniforme los laterales deben ser paralelos y espaciados a la misma distancia, lo que proporciona una meseta de agua uniforme en medio de los laterales y permite que cada línea cubra el área máxima. Generalmente se obtiene un desagüe mejor localizando los laterales a través de la pendiente que hacia arriba o hacia abajo de ella. Las líneas de tubos deben colocarse siempre a un lado de las corrientes de agua y lo suficientemente lejos para impedir que sean arrastradas por ella.

La topografía de la tierra, orígenes del agua que va a removerse y varias otras condiciones de campo, determinan la localización correcta de las líneas de tubería y el tipo adecuado de los sistemas de desagüe.

Los sistemas de tuberías de ladrillo pueden clasificarse en tres tipos generales: El sistema de líneas paralelas, el sistema al azar y el de intercepción.

Los sistemas de líneas paralelas se usan en tierras mal desaguadas que tienen poco declive y una contextura aproximadamente uniforme. Sus variaciones son los sistemas paralelos de rejilla, los de espina de arenque, el sistema de dobles desagües principales y el de grupo.

En los sistemas paralelos de rejilla un desagüe principal o auxiliar da servicio a tantos laterales como sea posible, lo que hace que la longitud y número de las salidas se conserven a un mínimo. Los laterales penetran a los desagües principales o auxiliares sólo de un lado. Ese es el medio más económico, ya que sólo se desagua doblemente la tierra de un solo lado de los auxiliares; es decir, una faja angosta a lo largo del desagüe principal se desagua tanto por los auxiliares como por los laterales. El sistema puede usarse en tierras que están uniformemente húmedas si se inclina generalmente hacia el desagüe principal o los auxiliares.

El sistema de espina de arenque se aplica en sitios donde el desagüe principal o los auxiliares quedan en una depresión angosta, debiendo entrar los laterales en ambos lados. Es menos económico porque ocurre un doble desagüe considerable en donde se juntan los laterales con el desagüe principal. Sin embargo, si la depresión sobre los auxiliares está excesivamente húmeda este sistema proporcionará mejor desagüe en ese punto.

El sistema de dobles desagües principales es una modificación del de rejilla, y puede usarse cuando el auxiliar se encuentra en una depresión que frecuentemente es una vía de agua natural y que a veces puede humedecerse debido a pequeñas cantidades de filtración desde los declives contiguos. Un desagüe auxiliar en cada lado de la depresión tiene el doble fin de interceptar el agua de las filtraciones y proporcionar desagües auxiliares para los laterales. El sistema de dobles desagües principales elimina también la necesidad de que algunos laterales se crucen debajo de las vías de agua, y disminuye la posibilidad de que algunos de ellos sean arrastrados si esas vías de agua se ahondan por la erosión. Un desagüe auxiliar en cada lado de la depresión permite también una línea de pendiente lateral más uniforme sin una interrupción abrupta en la pendiente. Un desagüe auxiliar colocado al pie de cada declive hace posibles pendientes más uniformes para las laterales, pudiendo emplearse tubos más pequeños que los que serían necesarios para un solo desagüe principal en el centro de la corriente de agua.

Los sistemas de grupo, una combinación de sistemas individuales, son útiles cuando la topografía y la humedad del campo varían, y debe cambiarse el patrón de desagüe para acomodarse a diferentes condiciones.

El sistema al azar se usa en áreas onduladas con sitios húmedos esparcidos y que quedan más o menos aislados unos de otros. Las líneas de tubería se colocan aproximadamente o al azar para desaguar los sitios húmedos. En la mayoría de los casos es más conveniente localizar los desagües principales de manera que sigan las líneas naturales de desagüe, en vez

de hacer cortes profundos en los montículos para colocarlas en línea recta. Los desagües auxiliares y laterales deben extenderse desde el desagüe principal hasta las áreas húmedas individuales. Si los sitios húmedos son muy extensos puede utilizarse uno o más de los sistemas paralelos para la colocación de los desagües auxilares y laterales, a fin de proporcionar un desagüe adecuado.

El sistema de intercepción comprende la intercepción del agua de filtrado que ocurre en la superfice superior de un subsuelo impermeable. Es posible localizar la tubería de manera que intercepte el agua de filtración remediando las condiciones de humedad. La debida localización de la tubería para la intercepción del agua de filtrado es muy importante, y debe localizarse primeramente la capa de filtración mediante muestreos de la tierra o abriendo trincheras. La línea de tubería debe colocarse entonces aproximadamente en la capa impermeable en la que se mueve el agua de filtración. La línea de tubería debe también localizarse de modo que haya por lo menos dos pies de cobertura sobre ella.

La salida de la tubería es el punto de partida de la planeación de un sistema de desagüe con tubería de ladrillo. El sistema no funcionará debidamente, a pesar del cuidado que se ponga al instalarlo, si la salida no funciona bien. Los desagües de ladrillo pueden descargar por gravedad en canales naturales o artificiales o en desagües principales de ladrillo ya existentes. Cualquiera de ellos es apropiado si está a una profundidad adecuada y si su capacidad es suficiente.

Una salida de canal abierto debe ser lo suficientemente grande para remover rápidamente el desagüe del desbordamiento de la vertiente a fin de evitar daños a las cosechas, y debe tener la profundidad suficiente para que cuando se coloquen las tuberías a la profundidad adecuada, quede cuando menos un pie de diferencia entre la línea de flujo de la salida de la tubería y el nivel de aguas bajas del canal. Esa diferencia puede disminuirse si el canal de salida tiene una pendiente que impida la sedimentación y si la corriente baja al nivel de aguas bajas unas cuantas horas después de una tormenta. La diferencia debe aumentarse si la salida se encuentra en tierras arenosas u orgánicas, o si está sujeta a abundantes depósitos de sedimento.

Un desagüe principal de ladrillo ya existente que se emplee como salida debe estar en buenas condiciones de funcionamiento y debe ser lo suficientemente profundo para permitir que se coloquen los laterales del sistema que se proyecte a la profundidad más conveniente para la tierra que va a desaguarse. Debe tener capacidad suficiente para manejar el sistema proyectado y debe tener facilidades para entradas superficiales y posibles adiciones de líneas de tubería.

Cuando no hay disponible una salida por gravedad, ya sea en zanja abierta o en desagüe de tubos, o cuando sea impracticable hacer mejoras en la salida, deben tenerse en cuenta las posibilidades de proporcionar una salida para el sistema de desagüe por medio de bombeo. El desagüe por medio de bombeo se discute en otro capítulo.

Los tubos de ladrillo deben ser lo suficientemente grandes para que tengan la capacidad de remover una cantidad determinada de agua de la superficie en 24 horas. Se llama coeficiente de desagüe a la proporción de remoción de agua que debe manejarse a fin de proporcionar el grado de protección requerido por las cosechas.

Al seleccionar el coeficiente de desagüe hay que tener en cuenta la frecuencia, intensidad y duración de las lluvias; la porosidad y permeabilidad de la tierra; las cosechas que vayan a cultivarse, y el método de disponer del agua superficial. La mayor parte de las cosechas de mercado requieren la remoción del agua sobrante unas cuantas horas después de una lluvia, y, por lo tanto, necesitan un coeficiente más elevado que las cosechas de campo. Cuando hay entradas superficiales, el influjo a la tubería de ladrillo ocurre en mayor proporción que en las líneas que carecen de ellas, lo que hace que se necesiten tubos más grandes.

La tabla que sigue da algunos coeficientes de desagüe para varias cosechas y condiciones de tierra, con y sin entradas superficiales:

Tierras	*No se admite agua superficial a las tuberías ni se proporciona un desagüe superficial completo.*	
	Cosechas de campo	*Cosechas de mercado*
	Pulgadas	*Pulgadas*
Minerales	3/8—1/2	1/2— 3/4
Orgánicas	1/2—3/4	3/4—1 1/2

la vertiente. Cuando se admite agua superficial a las líneas de tubería debe usarse toda la vertiente a la que da servicio la entrada como área contribuyente.

La tubería más pequeña que se recomienda generalmente es la de 5 pulgadas. Esa recomendación se basa en la necesidad de proporcionar un buen desagüe agrícola durante largo tiempo a bajo costo de mantenimiento, en vista de los métodos de construcción y de los probables desarrollos en las cosechas y prácticas de labranza.

La tubería de 4 pulgadas sólo da bue-

Tierras	*Agua superficial admitida a las tuberías a través de entradas superficiales*			
	Entradas ciegas		*Entradas abiertas*	
	Cosechas de campo	*Cosechas de mercado*	*Cosechas de campo*	*Cosechas de mercado*
	Pulgadas	*Pulgadas*	*Pulgadas*	*Pulgadas*
Minerales	1/2— 3/4	3/4—1	1/2—1	1—1/2
Orgánicas	3/4—1	1 1/2—2	1—1 1/2	2—4

El tamaño de la tubería necesaria para la capacidad requerida se basa en el tamaño del área que haya que desaguar, la pendiente de la línea de tubería y el coeficiente de desagüe escogido. Esta información básica permitirá determinar el tamaño de la tubería por medio de la tabla de desagües de ladrillo que se da al final de este capítulo.

Debe aplicarse el coeficiente de desagüe escogido al área correcta y a la pendiente de la línea de tubería si se quiere suministrar la capacidad deseada. En sitios en donde no se admite agua superficial directamente a las líneas de tubería, el coeficiente de desagüe escogido debe aplicarse solamente al área de tierra que desaguará en el sistema de tubería. Una excepción a lo anterior ocurre en sitios en donde el desbordamiento de una vertiente hidráulica superior se extiende sobre el área que va a desaguarse por medio de tuberías de ladrillo, aumentando así la carga adicional sobre la producida por las lluvias reales. En ese caso, si el desbordamiento no puede desviarse o canalizarse a través del agua que va a desaguarse, el coeficiente de desagüe debe aplicarse a toda el área de

nos resultados en tierras que contienen pequeñas cantidades de sedimento y arena y en líneas con pendientes de 0.1%, o mayores.

El tamaño de 6 pulgadas en largos de 18 y 24 pulgadas debe ser el mínimo en tierras profundas vegetales y de turba, debido a los cambios de alineamiento en las tuberías. Debe usarse también tubería de 6 pulgadas en líneas con entradas superficiales.

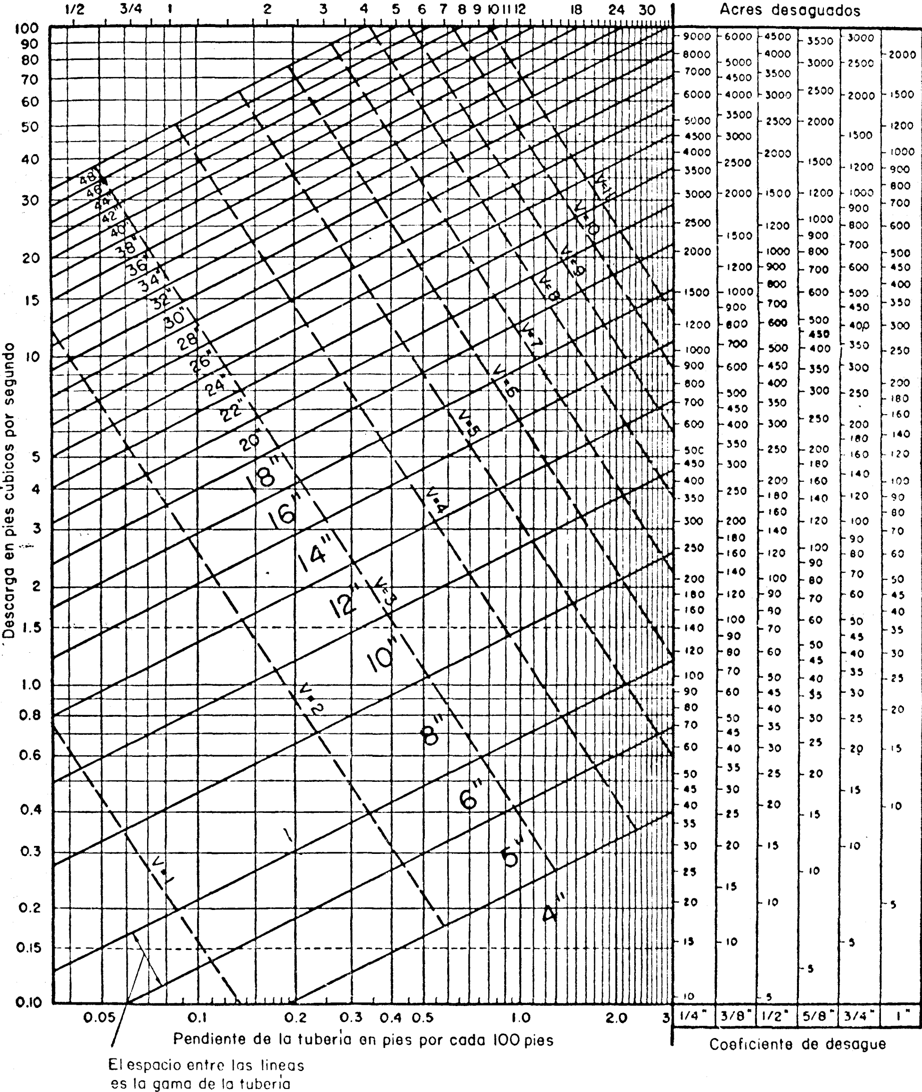
Cuando las líneas de tubos de ladrillo se usan para interceptar la filtración y el agua de los manantiales, deben hacerse investigaciones de campo adecuadas para determinar la cantidad y extensión de la filtración. Debe considerarse el área de la vertiente hidráulica, las tierras, las estratificaciones y las experiencias locales con sistemas similares para determinar el tamaño de la tubería necesaria para interceptar la filtración de las laderas de las colinas. Si no es posible determinar la cantidad de flujo de un manantial o área de filtración, debe usarse tubo de 6 pulgadas o de un tamaño mayor.

La profundidad y espaciamiento de los tubos deben ser tales que sean capaces de aminorar el agua del suelo entre las lí-

TABLA DE DISEÑO DE DESAGÜES DE LADRILLO

FORMULA YARNELL-WOODWARD $v = 138 r^{2/3} s^{1/2}$

Pendiente de la tubería en pulgadas por cada 100 pies



Modo de usar la tabla: 1. Búsquese el número de acres que van a desaguarse en la columna del coeficiente de desagüe que se escoja. 2. Proyéctese una línea horizontal que represente la pendiente de la línea de tubería que se da en la parte inferior de la tabla. 3. El tamaño de la tubería mostrado entre las líneas diagonales sólidas donde ocurre el punto de intersección es el tamaño de tubería requerido que debe usarse. 4. Las líneas diagonales interrumpidas muestran la velocidad de flujo del tubo. 5. Continúese la línea horizontal hasta que cruce la línea vertical del margen izquierdo para hallar la descarga en pies cúbicos por segundo.

neas de tuberías 24 horas después de una lluvia, a una profundidad que no pueda dañar las cosechas. Es muy importante la profundidad de la meseta de agua permanente después del desagüe, porque esa profundidad regula la cantidad de tierra

en la que los elementos alimenticios quedan disponibles para las raíces de las plantas. La profundidad y espaciamiento de las tuberías, requeridos para proporcionar la profundidad deseada de la meseta permanente de agua, quedan influenciados por la fuerza de compresión de la tierra, la cantidad y frecuencia de las lluvias, la filtración y el agua superficial y la nivelación de la superficie de la tierra. En algunos estados se obtienen recomendaciones sobre la profundidad y espaciamiento de acuerdo con los tipos de tierra, y la mayor parte de los distritos de conservación de tierras cuentan con guías locales que contienen esa información.

El promedio mínimo de profundidad para los laterales de ladrillo en tierras minerales debe ser por lo menos de 3 pies. La mayoría de los trabajos experimentales han mostrado incrementos en los rendimientos de las cosechas a profundidades de 3.5 a 4 pies. Esas profundidades pueden disminuirse a 2.5 pies con laterales colocados aproximadamente a 50 pies de distancia en tierras lentamente permeables, en tierras con capas de arena o de roca extremadamente densas que impiden mayores profundidades y en campos en los que las condiciones de las cosechas requieren el rápido desagüe del horizonte superior del perfil de la tierra.

No deben instalarse tuberías de ladrillo en las tierras orgánicas hasta que haya ocurrido el acomodamiento inicial. Esos ascensos o descensos continúan después de la primera etapa y pueden ser hasta de 0.1 de pie al año, debido a la oxidación producida por los cultivos, a la consolidación, encogimiento y erosión causada por el viento. Por lo tanto, la profundidad mínima de los laterales de ladrillo colocados profundamente en tierras vegetales o de turba nunca debe ser menor

Profundidades aconsejables para tubo de desagüe

Tamaño del tubo Pulgadas	*Clasificación de la Sociedad Norteamericana para Prueba de Materiales*	*Fuerza de ruptura Libras por pie lineal*	*Ancho de la trinchera en pulgadas*								
5	Normal	1,200	16.5	8.7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
	Extra	1,600	Inf	Inf	12.2	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
6	Normal	1,200	Inf	8.8	6.8	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
	Extra	1,600	Inf	Inf	12.3	8.7	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
8	Normal	1,200	Inf	9.0	7.0	5.8	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
	Extra	1,600	Inf	Inf	12.5	8.8	7.3	6.9	6.9	6.9	6.9
10	Normal	1,200	Inf	9.2	7.2	6.0	5.3	4.9	4.9	4.9	4.9
	Extra	1,600	Inf	Inf	12.7	9.0	7.5	6.6	6.0	6.0	6.0
12	Normal	1,200	Inf	9.4	7.3	6.2	5.5	5.0	4.7	4.7	4.7
	Extra	1,600	Inf	Inf	11.9	9.2	7.7	6.8	6.1	5.6	5.6
15	Normal	1,300	—	—	8.6	7.1	6.3	5.8	5.2	4.9	4.7
	Extra	1,600	—	—	13.1	9.5	8.0	7.1	6.3	5.8	5.2
18	Normal	1,400	—	—	—	—	7.0	6.5	5.9	5.5	4.7
	Extra	1,800	—	—	—	—	9.6	8.5	7.5	6.9	5.7
21	Normal	1,550	—	—	—	—	—	—	6.7	6.2	5.0
	Extra	2,100	—	—	—	—	—	—	9.3	8.3	6.8
24	Normal	1,700									
	Extra	2,400	—	—	—	—	—	—	—	7.1	5.9

NOTA 1. Los valores dados para los diferentes anchos de trinchera son profundidades de trinchera en pies.

NOTA 2. Los valores de resistencia a la ruptura dados son promedios en libras por pie lineal, basándose en el método de soporte de arena, Especificaciones para tubos de desagüe, Designación C4-50 de la Sociedad Norteamericana para Prueba de Materiales.

NOTA 3. Estos valores dan un factor de seguridad de 1.5.

NOTA 4. El ancho de la trinchera se mide en la parte superior del tubo.

NOTA 5. Las cargas se computaron para tierra de arcilla humedecida a 120 libras por pie cúbico. Pueden permitirse profundidades un poco mayores en tierras más ligeras.

NOTA 6. Colocación ordinaria de tubos, en la que la parte inferior del tubo queda bien apoyada en la tierra de 60° a 90° de su circunferencia.

NOTA 7. "Inf." significa Infinita.

Tierra	*Permeabilidad*	*Espaciamiento en pies*
Arcilla y margas arcillosas	Muy lenta	30— 70
Sedimento y margas arcillosas sedimentarias	Lenta a moderadamente lenta	60—100
Margas arcillosas	Moderadamente lenta a rápida ...	100—300
Tierras vegetales y turba	....	50—200

de 4 pies. En otro capítclo se da más información sobre el desagüe de las tierras vegetales y de turba.

El mínimo absoluto de cobertura en tierras minerales para evitar la rotura de los tubos por la maquinaria pesada, debe ser de 2 pies de tierra sobre ellas, y en tierras orgánicas ese mínimo debe ser de 2.5 pies. Cuando no es posible obtener esa cobertura mínima debajo de vías de agua y zanjas de caminos en el extremo de descarga de los desagües principales cerca de algunas estructuras, deben reemplazarse las tuberías de ladrillo con tubos de metal u otros tipos de tubería rígida continua de alta resistencia. Los desagües principales y los auxiliares deben estar a una profundidad suficiente para obtener la profundidad especificada para los laterales, a fin de que éstos se conecten aproximadamente en el centro de la tubería principal.

La profundidad máxima a la que puede colocarse la tubería varía con el ancho de la trinchera y depende de la resistencia a la rotura de los tubos de ladrillo. Los desagües de ladrillo deben instalarse de modo que la carga sobre ellos no exceda del promedio mínimo de su resistencia a la ruptura que se requiera, según se establece en la publicación C4-50T de la Sociedad Norteamericana para Pruebas de Materiales núm. 1916, calle Race, Philadelphia, Philadelphia, titulada *Especificaciones Temporales para Tuberías de Desagüe.* Las profundidades máximas aconsejables para los diferentes tamaños de tubería y anchos de trinchera en tierras arcillosas completamente humedecidas se dan en la tabla de profundidades aconsejables para tubería de ladrillo al final de este capítulo. Las profundidades dadas en esa tabla son mínimas y sólo se recomiendan para las condiciones menos difíciles de las tierras.

El espaciamiento entre los laterales debe variar con la contextura de la tierra. Cuando se usa un sistema de laterales paralelos de ladrillo para cosechas de campo, el espaciamiento debe quedar dentro de los límites de la tabla al final de este capítulo, que se basa en condiciones de la tierra, cosechas y experiencia local. Para algunas cosechas especiales o de gran valor puede justificarse un espaciamiento menor que el mínimo.

Las limitaciones mínimas y máximas de declives para tubos de ladrillo rigen lo que pueda considerarse como buena práctica de desagüe.

Las tuberías de ladrillo que se colocan en la mayoría de las tierras con muy poco o ningún declive, tienden a llenarse rápidamente. Los declives pronunciados que causan altas velocidades de flujo constituyen un riesgo bien definido para los desagües principales, especialmente cuando funcionan casi llenos.

El declive mínimo debe ser tan elevado como sea posible en tierras planas, considerando la topografía del área. El declive de cualquier tubería de ladrillo no debe ser más plano de 0.5 de pie por cada 100 pies. El declive mínimo en pies por cada 100 pies para tubos de 4 pulgadas es de 0.10 de pie; para 5 pulgadas de 0.7 de pie, y para 6 pulgadas de 0.05 de pie.

El declive máximo para los laterales de ladrillo debe variar a menudo, de acuerdo con las condiciones topográficas, y no siempre es posible apegarse a un declive máximo específico. Es probable que haya dificultad con los laterales aislados debido a la pendiente del declive bajo la mayoría de las condiciones de tierra (a excepción de las tierras finas arenosas), si no se sobrecarga la tubería. Además, la falla de un solo lateral no es grave, ya que afecta solamente a una tubería. Debe determinarse cuidadosamente el tamaño de los tubos para obtener una capacidad adecuada. Si hay cambio de un declive pronunciado a uno más plano, puede ser necesario aumentar el tamaño de la tubería para proporcionar una capaci-

dad adecuada. Los declives máximos para los laterales colocados en tierras finas arenosas necesitan más cuidado, siendo necesario observar precauciones especiales.

El declive máximo para los desagües principales de tubo varía con los diversos materiales de tierra y con las pendientes de los declives. De preferencia los desagües principales construidos con tubos de desagüe de granja no deben colocarse en pendientes mayores de 2%, aunque en algunas localidades y condiciones puede requerirse el empleo de declives más pronunciados. Se recomiendan las siguientes prácticas especiales para líneas de tubería colocadas en declives pronunciados en diferentes materiales de tierra.

Se necesita mucho cuidado al colocar la tubería en tierras arenosas y de margas arenosas con declives pronunciados. Es probable que haya dificultades con la tubería colocada en arena con cualquier declive apreciable, porque puede entrar a las uniones el agua libre que arrastra partículas sueltas de arena. Las irregularidades en las uniones causan también disturbios en el flujo de la tubería, y como la velocidad aumenta en los declives más pendientes es mayor la turbulencia y puede producirse un agujero en el exterior de la unión que puede mover el tubo y bloquear la línea. Esto puede suceder también en otros materiales de tierra, aunque menos frecuentemente que en arena.

Es una buena práctica usar tubería de albañal de tipo de campana o de lengüeta en declives mayores de 1%, si la tubería se diseña para funcionar casi llena. En las líneas que funcionen a la mitad de su capacidad puede usarse tubo de desagüe en los declives entre 1 y 4% con buenos resultados, si los tubos se colocan muy juntos, envolviendo las uniones con papel o arpillera gruesa impregnados de alquitrán, y si se apisona la tierra firmemente a su alrededor. Aun en pendientes menores de 1% son aconsejables esas precauciones para conservar el declive y alineamiento de la tubería.

Las tierras cenagosas y de margas cenagosas son menos peligrosas para la tubería de ladrillo en declives pronunciados que los materiales arenosos. Puede usarse el tubo de desagüe común en pendientes que varíen de 0.5 a 2% si se coloca ajustándolo bien y se apisona firmemente la tierra a su alrededor. Debe usarse tubo de albañal en pendientes mayores de 2% cuando el desagüe principal se diseña para una capacidad de flujo casi total. En las líneas diseñadas para funcionar a la mitad puede usarse tubo de desagüe en declives entre 2 y 6%, colocando los tubos bien ajustados, envolviendo las uniones con papel impregnado de alquitrán y apisonando firmemente la tierra a su alrededor.

En margas arcillosas y arcillas cenagosas sólo se necesita cuidado normal para colocar los tubos de desagüe en pendientes menores de 1%. Cuando se usa tubo de desagüe común en declives entre 1 y 6%, deben colocarse los tubos bien ajustados, apisonando firmemente la tierra a su alrededor. En declives mayores de 6% en donde el desagüe principal está diseñado para funcionar cerca de su capacidad de flujo, la tubería de albañal proporciona una construcción más segura. Si el desagüe principal está diseñado para funcionar a media capacidad, puede usarse tubo de desagüe en declives de 6 a 15%, si se coloca bien ajustado, envolviendo las uniones con papel impregnado de alquitrán y apisonando firmemente la tierra a su alrededor.

Si los desagües principales están en declives muy pronunciados, y especialmente aquellos que deben funcionar casi llenos, es conveniente protegerlos instalando un respiradero o ventila de aire en el extremo superior de la sección pendiente y un pozo de alivio donde el declive pronunciado cambia a una sección plana.

Todos los sistemas de desagüe requieren equipo adicional a fin de que funcionen debidamente. Los accesorios y estructuras bien seleccionados y usados cuando se necesitan, ayudarán a prolongar la vida y aumentarán la eficiencia del sistema.

Generalmente se usan entradas superficiales en las depresiones u hondonadas en donde el agua superficial se estanca en grandes cantidades sin que tenga sa-

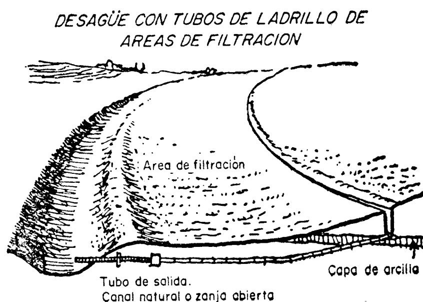
lida natural. Si se emplean entradas superficiales, se necesita un desagüe principal más grande que el requerido para desagüe subsuperficial solamente, aunque esto eleva los costos. Sólo deben usarse entradas superficiales cuando es imposible o impracticable la construcción de vías de agua para la remoción de las aguas estancadas.

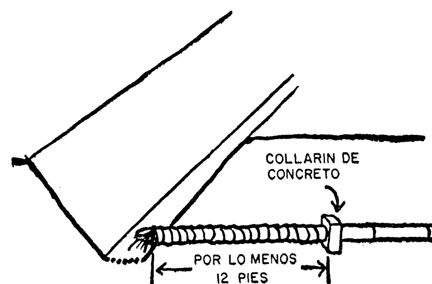
Dos tipos de entradas superficiales aceptados comúnmente son la entrada ciega y la abierta.

La entrada ciega es muy útil en campos abiertos, ya que no estorba las operaciones de labranza. Su proporción de remoción del agua estancada es mucho más lenta que la de la entrada abierta y, por lo tanto, debe usarse en sitios en donde el agua estancada no es mucha. Debe colocarse por lo menos una entrada en cada línea de tubería que pase por el área de la depresión. Una ventaja adicional consiste en que los desechos pequeños no pueden entrar a las tuberías.

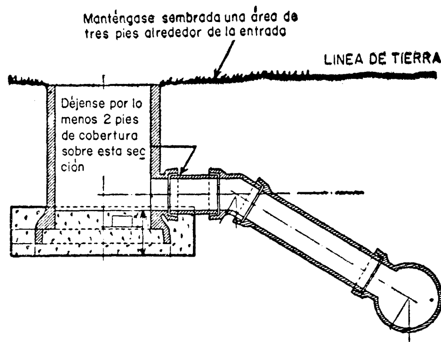
La entrada ciega se construye llenando una pequeña sección de trinchera de la tubería con pedazos de tubo, pedazos de ladrillo, piedras, grava, piedra triturada o una combinación de esos materiales. El relleno debe tener aproximadamente 6 pulgadas sobre el tubo y debe seleccionarse y colocarse cuidadosamente. Desde ese punto hasta 12 ó 18 pulgadas de la superficie de la tierra, el material debe conformarse hacia arriba, de grueso a fino, cubriéndose con tierra porosa. Para apresurar la entrada de agua y en sitios donde la sedimentación es un problema, puede usarse grava menuda, piedra pequeña o arena gruesa en vez de la tierra porosa superficial. Con el tiempo la entrada ciega se obstruye con el sedimento y deja de funcionar, y el periodo de tiempo de servicio eficaz depende de la colocación del material de relleno y de la cantidad de sedimento que llegue a la entrada. Cuando ésta deja de funcionar debidamente debe removerse el material, limpiarse y volverse a colocar en la trinchera, o construirse una nueva entrada adyacente a la antigua.

La entrada abierta tiene la gran ventaja de que permite que entre a la tubería un volumen mucho mayor de agua cada hora que con la entrada ciega, así que el agua estancada se remueve más rápidamente; pero el desagüe principal debe ser más grande para que pueda manejar el incremento de flujo protegiéndolo contra la admisión de desechos y contra los daños causados por la maquinaria de la-





Cuando no entre agua superficial a la zanja en la localización de la salida de la tubería, un tramo continuo de tubo rígido protege mejor la salida.



Línea de tierra. Entrada de superficie abierta, localizada a un lado del desagüe principal. Se usa una sección grande en T. de tubería de albañal para la conexión.

branza. Es buena práctica localizar las entradas en las líneas laterales o, por lo menos, 20 pies a un lado del desagüe principal. La parte superior de la entrada debe cubrirse con una rejilla de hierro que permita la entrada del agua, pero que impida el paso a las hierbas, olotes y otros desechos que podrían obstruir la tubería de desagüe. Si el espaciamiento de los barrotes de la rejilla es suficientemente estrecho para conseguirlo, a menudo el desecho se junta en la rejilla y disminuye o impide el flujo de agua al desagüe, lo que hace necesaria la constante inspección y remoción de desechos. Existe también la posibilidad de que si se produce una carga suficiente en la entrada pueda reventarse la tubería principal. De preferencia debe localizarse en las líneas de cercados en donde no estorbe a las operaciones de labranza. Si tiene que localizarse en campo abierto debe protegerse con un pequeño cercado o construirse de manera que la parte superior quede aproximadamente a un pie debajo de la superficie de la tierra, cubriéndose con piedras pequeñas y marcando su localización con un poste alto. La cubierta de piedras tenderá a disminuir la proporción de flujo en el desagüe.

Otro tipo de entrada superficial puede construirse con un tubo de albañal con uniones de cemento. Se coloca un tubo de albañal en T en la línea de ladrillo en la localización de la entrada y se conecta un tubo vertical de albañal a la espuela de la T, debiendo colocarse en la línea 2 ó 3 secciones de tubo de albañal con uniones de cemento en cada lado de la T. Este tipo de entrada sólo debe usarse en líneas laterales.

Se puede construir una entrada de desviación con un tubo grande de albañal con uniones de cemento, con bloques de construcción de concreto, bloques de cisterna o cualquier otro material ligero. La caja de entrada se conecta al desagüe principal por medio de una corta sección de tubo de albañal.

Ordinariamente el agua superficial arrastra grandes cantidades de sedimento que deben removerse antes de que lleguen a las líneas principales. Esto puede hacerse construyendo una trampa de sedimentos en la entrada superficial o puede localizarse esa trampa inmediatamente corriente abajo de la entrada, en cualquier punto conveniente. Es también aconsejable construir un pozo de alivio a corta distancia de la entrada superficial hacia abajo del declive. El pozo de alivio no es tan necesario si las pequeñas entradas descargan en tuberías grandes, pero es muy importante si las entradas grandes descargan directamente en cualquier línea.

Los pozos de alivio controlan la presión de la línea, que de otro modo podría reventar la tubería. Ocurrirá esa ruptura cuando la presión de agua en la tubería es mayor que la de la tierra, lo que fuerza el agua a través de las uniones. Una ruptura deslava la tierra alrededor del desagüe y hace que éste se salga de su lugar.

Puede construirse un pozo de alivio colocando una conexión en T en la línea y uniendo con cemento una sección vertical de tubo de albañal a la T. El tubo debe extenderse aproximadamente un pie sobre la superficie del suelo, a menos que en el diseño del desagüe principal se haya previsto que sirva también como entrada superficial. El extremo abierto del tubo debe cubrirse con una rejilla o malla de alambre grueso. El tamaño de la sección vertical debe ser igual al diámetro de la tubería, o uno o dos tamaños menos, dependiendo de la sobrecarga.

Los pozos de alivio deben localizarse en sitios en que la tubería de ladrillo podría sobrecargarse durante cortos periodos de tiempo, tales como al final de una sección muy pendiente o en líneas que tienen entradas superficiales. A veces pueden usarse también con ventaja para ayudar a los desagües ya existentes que se sobrecargan temporalmente hasta el punto de que se revienten. En ese caso debe haber disponible una buena vía de agua para transportar la descarga del pozo. Sin embargo, la primera consideración debe ser la instalación de una línea de alivio paralela al desagüe ya existente.

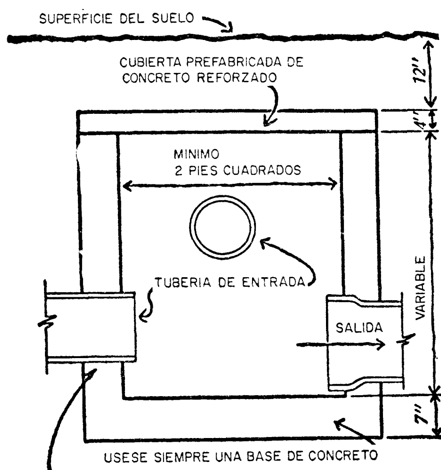
Los respiraderos o válvulas de aire de las tuberías pueden remover el aire atrapado y, por lo tanto, mejoran el flujo y proporcionan aire fresco que circulará

en todo el sistema y ventilará la tierra. Los respiraderos marcan también la localización de la tubería y sirven como aberturas de inspección, debiendo localizarse en los cambios repentinos de declive y pudiendo usarse con ventaja en desagües largos, en donde se colocan aproximadamente a cada cuarto de milla. Los respiraderos se construyen en la misma forma que los pozos de alivio, a excepción de que el tubo vertical puede ser sólo de 4 pulgadas de diámetro.

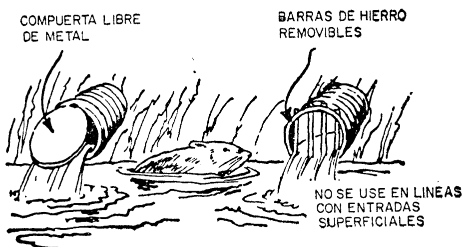
La trampa de sedimentos es una abertura o cuenca de recolección en la que existe una área de almacenamiento bajo la pendiente de la línea de tubería para recolectar el sedimento que llegue hasta la trampa. Esta se coloca de manera que las tuberías descarguen en un pequeño estanque de agua. El sedimento cae al fondo de la trampa y el agua limpia fluye por la tubería de salida. Debe instalarse en la tubería de salida cierto tipo de obstrucción o codo de 90° con la campana vuelta hacia abajo en el pozo para ayudar a que se deposite el sedimento. Deben usarse trampas de sedimento en las líneas de tubería que corren a través de mantos de arena fina o en grandes áreas arenosas en las que puede haber tendencia a que la arena fina penetre a través de las uniones. Deben usarse también en relación con las entradas superficiales abiertas para remover el sedimento de las aguas superficiales que entren a las líneas de tubería.

La caja de unión se instala en donde se juntan dos o más líneas grandes de desagüe o donde se unen varias líneas a alturas diferentes. Consiste de un pozo rectangular o cilíndrico de concreto, algunos tipos de bloques permanentes, tales como bloques de concreto o de cisterna, o de ladrillos colocados con argamasa. El tamaño varía de acuerdo con el número y diámetro de las tuberías que tengan que juntarse en una localidad. Un tamaño mínimo es de 2 por 2 pies.

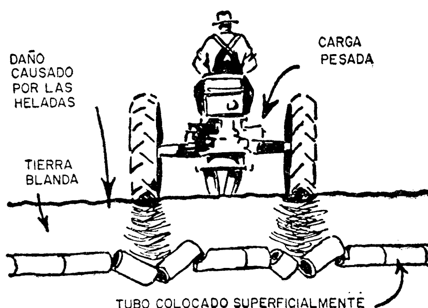
De preferencia la caja de unión debe localizarse en un sitio protegido. La parte superior de la misma debe extenderse aproximadamente un pie sobre la superficie del suelo para facilitar su inspec-



PLANO DE UNA CAJA SUMERGIDA DE UNION



DOS METODOS PARA IMPEDIR QUE LOS ANIMALES PEQUENOS PENETREN A LAS LINEAS DE TUBERIA



El tubo colocado superficialmente puede dañarse con las heladas y con el peso de la maquinaria pesada moderna.

ción. La parte superior debe tener una cubierta de concreto reforzado o una cubierta de metal con agujero de hombre. Si es necesario colocar la caja de unión en un campo cultivado, ésta debe construirse de manera que su parte superior quede por lo menos a 18 pulgadas bajo la superficie del suelo. La caja debe equiparse con una tapa removible de concreto cubierta con tierra y marcada para facilitar su localización. Además de unir las líneas, la caja de unión proporciona un sitio ideal de inspección.

Si se añaden estructuras para la remoción de sedimentos puede servir también como trampa de sedimentos, y debe considerarse ese uso adicional cuando la parte superior de la cubierta con agujero de hombre se encuentra sobre la superficie del suelo.

Es necesario proteger la salida de la tubería cuando los desagües principales descargan en una zanja abierta. El extremo de la tubería debe protegerse contra la erosión y asentamiento, lo que incluye dos condiciones.

Cuando el agua superficial no entra a la zanja en la localización de la descarga de la tubería, debe usarse un tramo continuo de tubo rígido en el extremo de la tubería de ladrillo. Por lo menos dos tercios de su longitud (un mínimo de 8 a 12 pies) debe quedar enterrado en el borde de la zanja, descargando la parte saliente inmediatamente adelante del pie del bordo. Debe usarse un pequeño collarín de concreto para unir la sección de tubo rígido a la tubería de ladrillo. Si la colocación de un tubo que salga fuera de la zanja causa la detención de bloques de hielo o si puede dañarse por los hielos o desechos flotantes, el tubo debe empotrarse en el bordo de la zanja, haciendo las provisiones necesarias para que el agua fluya del tubo en la sección pavimentada o delantal de una pequeña estructura de concreto o mampostería.

Cuando el agua superficial deba desaguar en la zanja en el mismo sitio que la descarga de la tubería, debe emplearse cierto tipo de estructura para la descarga de la tubería y para disminuir el flujo superficial de la zanja, a fin de evitar daños. Si no hay bordos de refuerzo, un vertedero de caída libre constituye generalmente el tipo más adecuado. Si hay un bordo de refuerzo y si es posible un almacenamiento temporal suficiente en la tierra, una estructura de entrada con caída de tubería proporcionará generalmente la instalación mejor y más económica. A veces puede ser posible mover la descarga de la tubería fuera de la vía de agua o desviar el agua superficial a otro sitio que se encuentre por lo menos a 60 ó 75 pies de distancia, disminuyendo el flujo superficial de la zanja por medio de un vertedero de tierra vegetal. Si el hacerlo resulta práctico, la descarga de la tubería puede localizarse corriente arriba de la del agua superficial, debiendo entonces protegerse con un tubo.

Deben usarse válvulas de compuerta u otra protección semejante en todas las descargas de tubería para impedir la entrada de animales pequeños, a menos que las descargas se localicen en tal forma que haga imposible su paso. Puede hacerse una sencilla válvula de compuerta con un pedazo de lámina galvanizada gruesa que debe ser lo suficientemente grande para que cubra bien los lados del tubo de descarga, con la sola excepción de que debe recortarse la parte superior de la compuerta para que se abra con facilidad. La compuerta se coloca en el extremo del tubo por medio de un alambre grueso sujeto en dos agujeros hechos en la parte superior del mismo. Los eslabones de alambre que sostienen la compuerta deben ser lo suficientemente grandes y sueltos para permitir que se mueva libremente. Nunca deben usarse rejillas o mallas de alambre en las tuberías de ladrillo que tengan entradas superficiales, debido al peligro de los desechos que pueden penetrar en ellas y juntarse en los barrotes o rejillas. Las raíces de las plantas pueden constituir un problema con ese tipo de rejillas.

Debe prepararse un plano o mapa de localización para cada instalación, que muestre la localización y tamaño de todas las líneas y la profundidad y declive de los desagües principales. Ese mapa será muy útil para el contratista durante la construcción, y si se corrige para mostrar las condiciones reales después de

ella será de gran valor como registro permanente de la instalación. Es de mucha utilidad para localizar las líneas cuando hay necesidad de hacer reparaciones y para determinar las posibilidades de hacer adiciones y extensiones al sistema. El mapa será también una prueba de la inversión adicional de capital en obras de desagüe cuando se venda la tierra. Este registro debe archivarse juntamente con las escrituras de la tierra.

ES MUY IMPORTANTE LA SELECCIÓN de tubos de desagüe que sean fuertes y durables. El compartimiento y la vida de un sistema de tuberías de ladrillo se afectan grandemente con la clase y calidad de tubo que se use. Todos los tubos que se instalen deben llenar los requisitos establecidos en las *Especificaciones para Tubería de Desagüe de Ladrillo.*

Los tubos que llenen esas especificaciones darán un servicio prolongado en cualquier situación. Los tubos de barro o de concreto son satisfactorios en condiciones normales. El tubo de concreto que llena las especificaciones normales de la Sociedad Norteamericana para la Prueba de Materiales, resiste las heladas. El tubo de barro que llena las especificaciones de la misma Sociedad para la calidad extra, generalmente es resistente a las heladas. Los ácidos y los sulfatos de la tierra pueden afectar los tubos de concreto en mayor o menor grado, pero no los tubos de barro. El tubo de concreto que llena las especificaciones para tubo de desagüe de calidad extra de la Sociedad Norteamericana para Prueba de Materiales, puede usarse generalmente en tierras ácidas de turba. Sin embargo, si la tierra o el agua del suelo contienen ácidos o sulfatos, debe obtenerse la opinión del distrito local de conservación de tierras, de la agencia agrícola del condado o del colegio agrícola del estado antes de comprar el tubo.

Nunca deben emplearse tubos que tengan grietas profundas, grandes bordos, manchas de cal, paredes granujientas y reticuladas, que no estén completamente redondos o que estén torcidos. Los tubos deben estar derechos, uniformes, y redondos, con orillas lisas cortadas a escuadra a fin de que puedan instalarse fácilmente en las trincheras. Un buen tubo debe ser denso, a fin de que no absorba el agua ni se dañe fácilmente con las heladas y deshielos. El tubo debe ser extraordinariamente fuerte para que resista el peso de la maquinaria agrícola. Es indispensable el curado del tubo de cemento después de su fabricación y antes de colocarse, a fin de que sea lo suficientemente firme para resistir el peso del relleno y el paso de la maquinaria pesada.

LA CONSTRUCCIÓN ADECUADA de la línea de tubería es la última condición de un buen sistema. Es muy importante contar con un contratista competente que tenga el equipo adecuado y el uso de tarjas o líneas de cordón para colocar las tuberías en los declives. Las tarjas deben usarse siempre como guías para acabar el fondo de las trincheras a la pendiente exacta. Deben usarse tarjas por lo menos cada 3 estacas a lo largo de cualquier zanja de declive continuo en cada vez. Las estacas de declive deben colocarse a una distancia de 100 pies, o menos, en las líneas rectas, y a 50 pies, o menos, en las curvas. Las estacas de declive deben colocarse siempre con ayuda de un nivel de ingeniero, ya que constituyen marcadores de cuya parte superior se toman todas las medidas.

La excavación de las trincheras debe comenzarse desde la descarga y continuarse hacia arriba del declive, lo que permite que el agua que penetre a la trinchera fluya hacia abajo en vez de estancarse y causar daños a los lados y al fondo de la misma. La trinchera debe excavarse en tal forma que los tubos puedan colocarse en línea recta y en curvas uniformes, ya que con esto se evitan interferencias al flujo y posibles obstrucciones. El ancho de la trinchera, medido en la parte superior de la tubería, debe ser aproximadamente igual al diámetro exterior de la tubería más 0.5 de pie, más o menos. Esa tolerancia entre la tubería y los lados de la trinchera es necesaria para la debida colocación y recubrimiento de los tubos. Es muy importante que el fondo de la trinchera se conforme precisamente al declive. Cualquier trinchera que se abra bajo

el declive en cualquier sitio debe rellenarse de nuevo con grava escogida o tierra bien pulverizada que debe apisonarse firmemente para proporcionar una base sólida, y el fondo de la trinchera debe conformarse de nuevo al declive y a su forma. El fondo de la trinchera debe quedar redondeado de manera que la tubería penetre en la tierra de 60° a 90° de su circunferencia. Si no es posible o deseable una curva gradual, puede hacerse un cambio en sentido horizontal por medio de una caja de unión o de inspección, o empleando codos o accesorios prefabricados, a fin de que el cambio de dirección se haga en una curva uniforme.

La colocación de la tubería debe comenzar también en la parte más baja de la línea y avanzar hacia arriba, siguiendo muy de cerca la excavación de la trinchera. Los tubos deben colocarse exactamente en la línea de la trinchera, asentándolos firmemente en su fondo y en el declive. Si un tubo no ajusta exactamente contra el que ya se ha colocado, debe voltearse en su eje horizontal hasta que ajuste precisamente en su parte superior quedando el espacio abierto en el fondo.

Las uniones o huecos entre los tubos admiten el agua de desagüe a la línea, y es muy importante que se mantenga el espaciamiento correcto de las aberturas, porque en algunas tierras se sellan las uniones demasiado estrechas, y las que son demasiado grandes permiten que penetre tierra a la tubería. Los espacios entre las tuberías pueden variarse de acuerdo con las condiciones de la tierra. La tierra arenosa requiere uniones muy ajustadas y los tubos deben colocarse y voltearse para evitar un exceso de hendiduras en las uniones. Los espacios deben ser aproximadamente de un octavo de pulgada en tierras lodosas y de marga, y el mínimo en las tierras de arcilla es el mismo pero a veces la experiencia local indica que debe usarse una abertura mayor. Las tierras vegetales y de turba requieren un espaciamiento de un cuarto a tres octavos de pulgada.

Si ocurren aberturas mayores entre los tubos, como sucede en el lado exterior de una curva, deben cubrirse las uniones con pedazos de tubo o en cualquiera otra forma apropiada.

Las uniones entre los laterales y las líneas principales deben hacerse con conexiones fabricadas o ramales para unir dos líneas de tubería. Si no pueden obtenerse esas conexiones, pueden romperse los tubos, ajustarse y sellarse con mortero de cemento. Los laterales deben conectarse a la mitad de los tubos principales, y en las líneas grandes de tubería es conveniente colocar una línea principal auxiliar a la línea principal para recoger el agua de los laterales, eliminando la necesidad de abrir las líneas principales cada 50 ó 100 pies. Los ahorros efectuados al dejar de comprar conexiones grandes y en el largo de los laterales, compensarán generalmente el costo de las líneas auxiliares.

Las raíces de los árboles pueden penetrar en la tubería a través de las aberturas de los tubos, obstruyendo el flujo del agua. Las raíces pueden continuar creciendo hasta llenar totalmente la línea y obstruir el flujo casi por completo, y esto es más probable que suceda si la línea se alimenta de manantiales y lleva agua en la estación de sequía, ya que las raíces penetran en ella en busca de humedad.

Si es posible deben removerse todos los árboles que buscan el agua, tales como sauces, olmos, arces y álamos, a una distancia aproximada de 100 pies a cada lado de la línea, y es conveniente dejar una distancia de 50 pies entre otros árboles. Debe construirse un desagüe cerrado con tubos de albañal con uniones de cemento si no pueden removerse los árboles o desviarse la línea, y este tipo de construcción debe prolongarse a través de la zona de raíces.

La construcción sobre arenas movedizas, arenas que transportan agua, requiere sumo cuidado para evitar que el material sedimentario penetre en la tubería y obtener declives uniformes en tierra firme. Si las condiciones lo permiten, debe demorarse la construcción hasta que el perfil de la tierra esté lo más seco posible. Deben seleccionarse tubos de calidad inmejorable, de forma y tamaño uniformes y con extremos lisos colocándolos en tal

forma que se obtenga el mejor ajuste posible. Las dos terceras partes superiores de las uniones deben cubrirse con papel de construcción saturado de alquitrán. Cuando sólo es necesario extender la tubería a través de un manto de arenas movedizas, puede emplearse tubería de albañal calafateada con estopa o usar un tubo rígido continuo en vez de tubo de desagüe. Si se usan tubos de metal deben cubrirse las uniones con papel saturado de alquitrán, sujetándolos con bandas fabricadas de conexión.

Los filtros bien construidos servirán generalmente para estabilizar los declives secundarios. Un método recomendable consiste en construir una envoltura de grava colocando grava cribada o piedra caliza triturada en la trinchera para estabilizar el declive auxiliar. Después de colocar el tubo, se cubre con papel saturado de alquitrán en sus dos terceras partes superiores y se rellena con piedras de igual tamaño. Otro método consiste en excavar a una profundidad suficiente bajo el declive para rodear la línea de tubería por lo menos con 4 pulgadas de tierra estable, ya sea marga, arcilla o una mezcla de las dos. A veces es posible estabilizar el fondo de la trinchera, colocando una capa firme de tierra vegetal en ella y poniendo el tubo sobre la misma. Los tubos deben cubrirse completamente con la misma tierra vegetal antes de rellenarse.

Si las arenas movedizas causan muchas dificultades, los filtros rara vez proporcionan un soporte adecuado para la tubería y ésta debe colocarse en un soporte en forma de cuña, que puede construirse colocando tablones de madera en el fondo de la trinchera y clavando tiras de madera a lo largo de las orillas superiores para formar un canal para la tubería. Los tablones de madera deben ser aproximadamente iguales al diámetro exterior de la tubería. Las uniones de los tablones o tiras de madera deben espaciarse a lo largo de ellas a fin de obtener un soporte rígido y firme para toda la sección de tubería. En ocasiones ese soporte de cuña tiene que colocarse sobre pilotes para conservar el declive.

La celosía consiste en colocar tierra superficial floja y suave alrededor de la tubería, cubriéndola con ella a una profundidad de 6 a 12 pulgadas. La cobertura deja pasar libremente el agua a la tubería y retiene ésta en su lugar en caso de que ocurran lluvias antes del relleno y durante la aplicación del mismo. La celosía debe colocarse inmediatamente después que la tubería queda en su sitio, y es conveniente tapar con ella toda la tubería al terminar las labores del día. No debe colocarse arena directamente encima o alrededor de la tubería, y debe tenerse cuidado de que la tierra penetre completamente hacia abajo y alrededor de la tubería, a fin de no causar disturbios en las uniones o en el alineamiento de los tubos.

En arena o tierras apretadas, o cuando no hay disponible tierra superficial apropiada, puede esparcirse una capa de varias pulgadas de grava seleccionada o escoria gruesa sobre la tubería, lo que evitará que se sellen las uniones y facilitará el desagüe. Pueden usarse materias vegetales como heno de pantano, paja u olotes de maíz para cubrir las uniones, pero el periodo de utilidad de esos materiales es limitado.

Debe completarse el relleno de la trinchera inmediatamente después de que se colocan las celosías y antes de que el material de relleno se congele. Todo el material removido de la trinchera debe volverse a ella, amontonándolo sobre el suelo arriba de la trinchera de tal manera que se eviten depresiones perjudiciales una vez que haya ocurrido el acomodamiento. El relleno se hace generalmente por medio de tractores y arados, escariadoras, conformadoras de caminos, transportadores pesados o implementos motorizados.

UN SISTEMA DE TUBOS DE DESAGÜE bien diseñado y construido no requiere un mantenimiento excesivo, pero los escasos cuidados necesarios son extremadamente importantes. Un tubo roto obstruirá toda una línea. Se han arruinado muchos sistemas de tubería y aun porciones de algunas granjas debido al descuido de las salidas.

El sistema de tuberías debe inspeccionarse por lo menos en la primavera y

otoño de cada año, y más a menudo durante el primer año de funcionamiento. La salida debe conservarse abierta y libre de sedimentos y desechos en todo tiempo. La válvula de compuerta de la salida debe mantenerse en buenas condiciones, cerciorándose de que funcione libremente. Si ocurre erosión en la salida deben tomarse medidas inmediatas para corregirla. Deben inspeccionarse a menudo las trampas de sedimento, limpiándolas siempre que sea necesario, y es una buena práctica inspeccionar a menudo todas las líneas para descubrir agujeros y deslaves que deben repararse inmediatamente.

Un sistema bien planeado, instalado correctamente y al que se dé el mantenimiento periódico necesario, proporcionará un buen desagüe por varias generaciones.

KEITH H. BEAUCHAMP *ha sido ingeniero del Servicio de Conservación de Tierras desde su iniciación en 1934, y de 1946 a 1954 fue ingeniero regional de desagües en la zona alta del Valle del Mississippi.*

Canales de descarga, pendientes, bordos, diques y represas

John G. Sutton.

PARA QUE LOS AGRICULTORES cuenten con sistemas eficaces de desagüe necesitan dar especial atención a las zanjas de salida, declives laterales y bordos, represas y diques.

Las zanjas de salida deben tener la capacidad suficiente para manejar el desbordamiento, y deben ser lo suficientemente profundas para desaguar los campos bajos y para servir de salida a los sistemas de tuberías de desagüe.

Ordinariamente el sistema de zanjas descarga en una corriente o lago, y al construirlos debe tenerse en cuenta la frecuencia de las inundaciones. A menudo es necesario inspeccionar un canal natural bastante abajo del punto de salida, para precisar si es suficiente para manejar el flujo del sistema de desagüe y si la tierra a lo largo del mismo no quedará sujeta a crecientes riesgos de inundaciones.

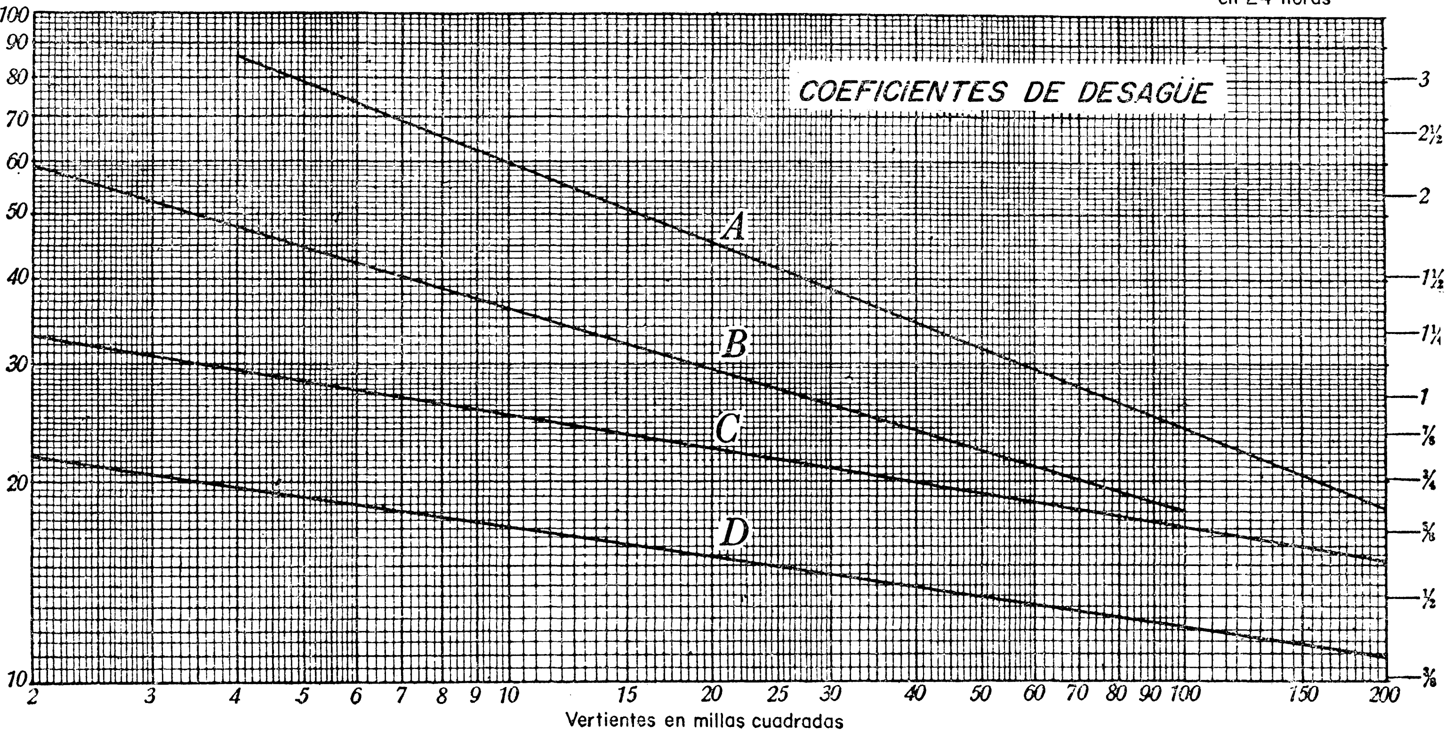
La topografía natural fija la localización general de las zanjas en la mayoría de los sitios, por lo que existe el problema de la obtención de tangentes largas y rectas y curvas regulares que permitan el cultivo económico de los campos. Generalmente no es deseable enderezar las zanjas de salida si los cortes necesarios exceden de 18 a 24 pulgadas de profundidad, o cuando la nueva localización encuentre tierras arenosas o inestables. A veces la localización de las zanjas se determina por los linderos de las granjas.

Generalmente las zanjas laterales para las grandes áreas de tierras de praderas y lechos de ríos se espacían a una milla de distancia, y de ese modo cada cuarta parte de la tierra tiene acceso a una zanja. Si los espaciamientos son mayores o si las granjas son más pequeñas de 160 acres, se necesita un arreglo diferente de las laterales, a fin de que cada granja pueda tener una salida adecuada. En algunos sitios se acostumbra que las zanjas públicas de salida no toquen todas las granjas pequeñas, y entonces los agricultores deben unirse en grupos para construir una zanja lateral.

Se han establecido normas para los tamaños de las zanjas de salida bajo condiciones diversas. Generalmente toman la forma de curvas, que se conocen comúnmente como coeficientes de desagüe y que ordinariamente proporcionan grados diferentes de desagüe para permitir a los ingenieros la planeación de zanjas de acuerdo con la topografía y los requerimientos de las cosechas.

La tabla al final de este capítulo muestra los coeficientes para los estados del medio Oeste, en donde han estado en uso desde 1938. Las zanjas construidas de acuerdo con el tamaño indicado suministran desagües agrícolas del grado que muestra la tabla.

La curva A da una proporción de desbordamiento que se excederá rara vez en tierras planas y que puede usarse para



A) Para buena protección contra desorbordamientos pero no desbordamientos máximos de inundación. *B)* Para obtener excelentes desagües. *C)* para muy buenos desagües agrícolas en Ohio, Indiana, Illinois, Iowa y el norte de Missouri. Las áreas de las vertientes sobre cada sección de zanja para la que vaya a calcularse la capacidad. Sólo es aplicable en áreas planas de vertientes con declives promedios de menos de 25 pies por milla.

la planeación de canales de desagüe para el desbordamiento de tierras con colinas.

La curva B proporciona un desagüe excelente y mayor grado de protección para granjas, cosechas de mercado y áreas agrícolas en donde se necesita un desagüe muy bueno. Puede usarse para desbordamientos de tierras onduladas.

La curva B proporciona el nivel de desagüe más elevado que puede justificarse económicamente.

La curva C se usa más comúnmente para la planeación de sistemas agrícolas en los que las cosechas principales consisten de maíz, pequeñas gramíneas y cosechas relacionadas en rotación. La curva C proporciona un buen desagüe agrícola para la granja común en el medio Oeste.

La curva D se emplea para el desagüe de tierras bajas o de tierras pesadas que vayan a usarse para la producción de heno o pasturas y que no se adaptan fácilmente a cosechas de cultivo. La curva D se emplea en localidades en las que las lluvias son menos intensas. Por ejemplo, se usa en las áreas glaciales de la parte central del norte de Iowa. Durante la inundación de 1954 que causó perjuicios en Des Moines y otros sitios, la curva D proporcionó un grado satisfactorio de desagüe para tierras agrícolas. El agua se juntó en las áreas bajas y en los estanques y causó daños extensos a las cosechas, pero las zanjas de salida manejaron las aguas de salida tan rápidamente como las recibieron.

Las curvas se prepararon después de extensos estudios del flujo de las corrientes en los campos de desagüe del Cuerpo de Conservación Civil en Missouri, Indiana y Ohio en 1936-1938. Su aplicación se limita a áreas en donde las vertientes hidráulicas no tienen un declive mayor de 25 pies por milla. Cuando el desbordamiento de una gran área entra a un sistema de desagüe, el sistema de zanjas se diseña comúnmente con una curva más alta. Si el sistema de salidas de desagüe se diseña con la curva C y una de las laterales tiene que manejar el desbordamiento de tierras onduladas con declives más pronunciados, sería más apropiado diseñar esa lateral de acuerdo con la curva B. Naturalmente, los ingenieros tomarían en cuenta el mayor tamaño de la lateral al planear el sistema corriente abajo.

Las curvas se han aplicado también en los estados del Nordeste y se han preparado curvas especiales que dan menores proporciones de desbordamiento para usarse en North Dakota y Minnesota. Se han preparado curvas semejantes que dan proporciones de desbordamiento aproximadamente de 10 a 30% mayores y que se emplean en los estados del Sur.

La tabla muestra también que la proporción de desbordamiento por milla cuadrada disminuye a medida que aumenta el área de la vertiente. Así, en la curva C se permite una descarga de 30 pies cúbicos por segundo por milla cuadrada para una vertiente de 3.6 millas cuadradas. Sin embargo, para una área de vertiente de 10.7 millas cuadradas el coeficiente de desagüe se reduce a 25 pies cúbicos por segundo por milla cuadrada. El empleo de la curva proporciona un diseño equilibrado en todo el sistema de desagüe y hace posible la planeación de los tamaños de zanjas más económicos de acuerdo con las áreas de las vertientes. Se necesitan más investigaciones para llenar los huecos en las actuales recomendaciones.

La determinación de los declives laterales y el tratamiento de los bordos de refuerzos se cuentan entre los puntos más importantes que hay que considerar en la planeación eficaz de zanjas abiertas, ya que influencian la estabilidad de los bordos de las zanjas y facilitan el mantenimiento. El ancho del derecho de paso debe ser suficiente para la zanja.

En muchas zanjas de salida se usa un declive lateral de 1.5 a 1, es decir, 1.5 pies de distancia horizontal por un pie de distancia vertical. Esa proporción es bastante, pero un declive vertical de ese tipo será adecuado para la mayoría de las tierras de marga y arcillosas. En margas sedimentarias y en tierras de contextura media se usa ordinariamente un declive lateral de 2 a 1. Sin embargo, algunas tierras son erosivas y se conservarán mejor con un declive más pendiente. A

menudo los bordes de las zanjas asumen una posición casi vertical y, por lo tanto, las arenas profundas y las tierras de margas no estratificadas se excavan ordinariamente con declives laterales de 1 a 1 ó de 1.5 a 1. Las zanjas excavadas en tierras vegetales o de turba se construyen a menudo con declives laterales de 1.5 a 1, o más pendientes. Es conveniente observar las zanjas antiguas de desagüe en la localidad para determinar los declives laterales que sean más estables.

Los bordos de refuerzos deben ensancharse a fin de que sean más fáciles de cultivar, y de preferencia sus declives laterales no deben ser más pendientes de 6 a 1.

Una de las mejoras principales más recientes en el diseño de zanjas de salida consiste en el tratamiento de los bordos de refuerzo. Pueden cultivarse cosechas en los bordos de refuerzo ensanchados. La localización de los refuerzos a distancia de la zanja disminuye las presiones de la tierra a proximidad de ella, y la hace más estable y fácil de conservar.

Se llama meseta a la distancia entre la parte superior del bordo de la zanja y la orilla del bordo de refuerzo. En tierras estables esa meseta debe ser por lo menos del doble de la profundidad de la zanja. El ancho mínimo debe ser de 10 pies para permitir su fácil mantenimiento por medio de una draga de cable.

Si una meseta de árboles ordinariamente se pueden cortar a una altura de 12 a 18 pulgadas sobre el nivel normal de la tierra, cubriendo los tocones con materiales de excavación para formar un camino. Esta práctica no es deseable si la zanja está localizada en tierra inestable, porque aumenta la carga de sus bordos y tampoco debe usarse si ocurre erosión en los bordos que pueda hacer que los tocones caigan al canal. Si los trabajos de conservación pueden hacerse desde un solo bordo, puede ser conveniente planear un camino practicable para las dragas de cable a lo largo de una meseta, disminuyendo a un mínimo la del bordo opuesto para ahorrar derechos de paso. Los anchos de las mesetas se mantienen al mínimo en áreas de riego, a fin de asegurar la estabilidad de los bordos de las zanjas, porque los bordos de refuerzo no pueden regarse fácilmente. En áreas forestales se especifican también mesetas de ancho mínimo y bordos altos de refuerzo para ahorrar derechos de paso y costos de construcción. Es muy importante un camino practicable a lo largo de una zanja porque permite el acceso de camiones y equipo de excavación.

Aun siguiendo las recomendaciones anteriores, los bordos de las zanjas pueden ser inestables. Esas condiciones son muy frecuentes debido a ciertas capas de tierra, tales como las arenas movedizas que tienen muy poca resistencia al deslizamiento. A menudo se encuentran capas inestables de tierra en los bordos de las zanjas en los que el material principal es una tierra pesada que ordinariamente se sostendrá en un declive de 1.5 Es muy probable encontrar esas condiciones en las etapas iniciales de construcción de las zanjas cuando está saturado el subsuelo. Si no hay remedio específico para las mismas, generalmente es mejor planear la reexcavación de la zanja después de que ocurran los deslizamientos y se hayan secado y estabilizado los bordos. A veces es más conveniente excavar la zanja sólo en parte de su profundidad especificada y terminar la excavación después de que se hayan desaguado las tierras vecinas. Una buena cubierta vegetativa ayudará a estabilizar la zanja.

Es sumamente importante suspender los trabajos en las áreas difíciles de deslizamiento hasta que puedan obtenerse las secciones de zanjas requeridas. Un deslizamiento puede actuar como represa en una zanja, dificultando el desagüe de las tierras encontradas corriente arriba.

La velocidad de flujo que puede tolerarse en las zanjas de desagüe varía con el tipo de tierra. En tierras de arena fina y en margas arenosas, la máxima velocidad no erosiva de los canales es de 2.50 pies por segundo. Los estudios efectuados por Samuel Fortier y Fred C. Scobey demostraron que la velocidad que puede permitirse en margas firmes es de 3.5 pies por segundo; en grava fina, de 5 pies por segundo, y en arcilla dura, de 5 pies por segundo.

Si se construye el tipo ordinario de zanja, ocurren en ciertos sitios velocidades erosivas. Una solución puede consistir en diseñar la zanja con mayor anchura y menos profundidad, a fin de disminuir la velocidad. Además, el declive natural de la tierra puede ser tan grande, la caída al canal de salida tan fuerte y las condiciones de tierra tan inestables que sean indispensables ciertas estructuras para el control de la pendiente. Puede verse un ejemplo de lo que sucede cuando no se siguen esas precauciones a lo largo de los tributarios del río Missouri en el oeste de Iowa y en Missouri. Algunos de ellos se han ensanchado tanto que la caída de los bordos ha perjudicado seriamente las tierras.

Las zanjas de desagüe en tierras planas pueden presentar el problema de una velocidad demasiado baja, y entonces generalmente es aconsejable diseñar las zanjas tan profundas como sea posible, a fin de obtener una velocidad mayor y disminuir la sedimentación.

Las profundidades de las zanjas de salida varían, dependiendo de que se las destine a desagües superficiales, de tuberías o de tierras de riego. Para desagües superficiales sólo necesitan ser lo suficientemente profundas para manejar el desbordamiento que reciben. Sin embargo, el declive de las zanjas de salida para sistemas de tuberías de desagüe debe quedar por lo menos 18 pulgadas más abajo que el declive inferior de la salida de las tuberías. Por lo tanto, puede haber algunos depósitos de sedimento en la zanja de salida antes de que se afecte la tubería de desagüe. Si se planean tuberías de desagüe, las zanjas de salida en el área húmeda no deben tener una profundidad menor de 5 pies.

Las zanjas pueden ser bastante profundas en tierras estables, ya que se obtiene mejor eficiencia hidráulica con una zanja profunda. En tierras arenosas en las áreas húmedas a menudo las zanjas son anchas y poco profundas para asegurar su estabilidad. La profundidad de la zanja debe aumentar uniformemente corriente abajo. Debe tenerse cuidado de obtener una pendiente uniforme en el fondo, evitando montículos en la línea de declive.

Se requieren zanjas más profundas en las áreas de riego en las que tienen que abrirse zanjas en grava o arena para interceptar el agua del suelo. Muchas zanjas tienen que ser de 10 ó 12 pies de profundidad, o aún más hondas, para llegar a la capa permeable. No debe permitirse que el agua del suelo se eleve sobre una profundidad de 5 pies, para evitar el arrastre de sales alcalinas o salinas. La profundidad debe ser, por lo menos, de 6.5 a 8 pies para desagües de tubo, y de 8 a 10 pies para zanjas abiertas en las que descargan desagües de tubo.

El tipo de estructura más común en una zanja de desagüe es una alcantarilla o puente. Ha habido dificultades cuando las alcantarillas de carreteras, caminos o ferrocarriles se colocan demasiado altas o son muy pequeñas, y a menudo su reemplazo ha sido difícil y costoso. Las alcantarillas y puentes deben planearse cuidadosamente para llenar las futuras exigencias de los desagües, a fin de evitar gastos innecesarios más tarde.

La carretera de Portazgo, de Ohio, es un ejemplo de planeamiento considerando los requerimientos futuros. Cruza 13 condados en el noroeste de Ohio, que consisten en gran parte de tierras planas desaguadas. El ancho del derecho de vía era generalmente de 250 a 600 pies. La carretera cruzaba muchos sistemas de tuberías con laterales espaciados a una distancia no mayor de 60 pies, y muchas zanjas abiertas. Desde un principio los ingenieros planearon puentes y alcantarillas adecuados para proteger los sistemas de desagüe ya existentes y los que pudieran construirse en lo futuro. El ingeniero consultor empleó a un ingeniero del Departamento de Agricultura, cuya sola tarea consistía en ayudar a resolver los complejos y difíciles problemas relacionados con los desagües en la construcción. Henry N. Luebcke describió, en un artículo publicado en el número de julio de 1953 de la revista *Carreteras y Calles,* los planos para la alteración y reconstrucción de los sistemas agrícolas ya existentes, el diseño de las estructuras de desagüe de la carretera, las disposiciones

para los futuros desagües agrícolas y el mejoramiento de los sistemas de desagüe ya existentes.

Los ingenieros prepararon planos para la instalación de colectores principales en sitios que necesitaban desagües pero que carecían de salidas. Algunos de esos colectores principales están debajo de los sistemas de tuberías ya existentes o pueden sellarse en ambos extremos a fin de llenar las futuras necesidades de los desagües. Se dio especial atención a la construcción de puentes y alcantarillas lo suficientemente grandes para manejar los flujos adecuados de desagüe, y a las profundidades mínimas de las alcantarillas y puentes para manejar los sistemas de desagüe ya existentes, así como los que pudieran construirse en lo futuro.

Probablemente se ha tenido en cuenta el mantenimiento inadecuado de las empresas de desagüe en la planeación de algunas alcantarillas de carreteras. Algunas de ellas se habían colocado a profundidades adecuadas, pero los desechos y sedimentos de los desagües descuidados las habían obstruido parcialmente. Por lo tanto, cuando se construyen nuevas carreteras los ingenieros encargados tienden a colocar las alcantarillas tan altas como sea posible en relación con el declive del fondo de las zanjas de desagüe ya existentes.

A menudo los departamentos de carreteras colocan las alcantarillas o puentes de acuerdo con las profundidades de los desagües ya existentes; pero cuando los agricultores deciden rehabilitar sus sistemas de desagüe se encuentran con que las alcantarillas o puentes están demasiado altos, pudiendo requerirse costosas reconstrucciones de las estructuras de carreteras para llenar esas necesidades de desagüe. Por lo tanto, las alcantarillas y puentes deben construirse para llenar las necesidades futuras y no solamente los requerimientos actuales.

Se han hecho grandes progresos en la instalación de tuberías y estructuras de caída en donde los laterales y desagües de campo penetran a las zanjas de salida con una baja repentina en su declive. Generalmente se usan caídas de tubería de varios materiales y en muchos sitios pueden verse esos tubos, que sobresalen en las zanjas de salida.

A veces se usan canales de tierra vegetal para controlar la erosión, que deben descargar en una área excavada 10 ó 15 pies atrás del fondo de la zanja de salida. El objeto del área excavada es permitir la acumulación de sedimentos hasta que la vegetación queda bien establecida. El canal debe tener una pendiente no mayor de 8 a 1 para interceptar la pendiente de los laterales o desagües de campo.

En algunos sitios la vegetación natural proporcionará rápidamente una buena cobertura después de que la entrada y el vertedero se excavan a las dimensiones apropiadas, pero a veces es necesario establecerlas. El colchón vegetal puede sujetarse con alambres o colocarse en bolsas para mantenerlo en su sitio hasta que queda bien enraizado.

Se recomiendan las puertas oscilantes sobre las zanjas de salida cuando se requiere que las cruce un cercado. Los cercados ordinarios a través de las zanjas de desagüe recogen desechos, causan una sedimentación excesiva y son difíciles de controlar. Si se necesita un cercado a través de una zanja de desagüe, es más conveniente usar puertas oscilantes que se abrirán cuando se eleva el agua. Una estructura bien diseñada permite que los desechos flotantes pasen debajo de ella.

Esas puertas oscilantes son indispensables en las zanjas que van a pastarse. Como el pastado es una medida tan eficaz de mantenimiento, generalmente conviene a los intereses de las empresas de desagüe hacer la inversión necesaria para instalar esas puertas.

En ocasiones las zanjas de desagüe tienen un declive muy pendiente y ciertas caídas deben protegerse con una estructura de caída para evitar la erosión. A veces se usan medidas de protección de los bordos para controlar la erosión en las curvas y vueltas, tales como piedras amontonadas o pilotes.

LAS REPRESAS Y DIQUES PUEDEN SER NECESARIOS, y muchos de los más pequeños se construyen y mantienen por las empresas de desagüe. Las grandes repre-

sas a lo largo de los ríos principales, construidas por el Cuerpo de Ingenieros, protegen las tierras bajas contra los desbordamientos y han hecho posible el desagüe de grandes superficies a lo largo de los ríos Mississippi, Ohio, Missouri, Illinois, Rojo y San Joaquín. Los diques de represas construidos por las empresas de desagüe y los agricultores se encuentran ordinariamente a lo largo de las corrientes más pequeñas y tienen algunas desventajas: La altura del flujo a lo largo de los canales de las corrientes, la proporción en que la cresta de inundación se mueve corriente abajo, la descarga máxima a cierta distancia corriente abajo, y la velocidad de la corriente y tendencia a que ocurra erosión, todas aumentan cuando las aguas de inundación se confinan entre represas, y se disminuye el almacenamiento de aguas de inundación.

Se debe tener especial cuidado en la construcción de represas a lo largo de las pequeñas corrientes que tienen vertientes hidráulicas muy pronunciadas y que están sujetas a crecientes rápidas que pueden llegar a la etapa de inundación. A menudo necesitan combinarse los depósitos de almacenamiento de agua de las inundaciones y las medidas de protección de las vertientes, a fin de proporcionar un sistema de desagüe eficaz para las tierras bajas.

Entre los mejores sitios para la construcción de pequeñas represas y diques se cuentan los lechos anchos de corrientes, en los que se protege con ellos una gran área de tierras agrícolas, y los beneficios son considerables en proporción a los costos. Otros de esos sitios son las tierras cercanas a lagos o grandes ríos que quedan sujetas a desbordamientos o inundaciones por aguas confinadas y cuya altura de inundación es bien conocida.

El estudio de las alturas y frecuencias máximas de flujo debe preceder a la construcción de represas. Ordinariamente las represas agrícolas podrían construirse a una altura de 2 ó 3 pies más que la etapa de inundación para la que se destinan. Se llama tolerancia a la altura de la represa sobre el nivel de inundación escogido.

Es impracticable el diseño de represas que suministren protección contra todas las inundaciones principales. Por ejemplo, la inundación del río Ohio, de enero de 1937 sobrepasó en varios pies la altura de muchas represas y diques locales, excediendo a todas las inundaciones anteriores. Un estudio de las represas y diques en las áreas de inundación indicó que la mayoría de las empresas de desagüe y de los agricultores carecían de los medios necesarios para proteger sus tierras contra inundaciones de ese género, pero que podían construir diques y represas que protegieran las tierras contra inundaciones que pueden ocurrir una vez en 10 ó 25 años.

Antes de construir pequeñas represas y diques, todos los interesados deben saber cuánta protección proporcionarán. Los agricultores deben planear la utilización de sus tierras para rotaciones especiales de cosechas, si es probable que los diques se desborden cada determinado número de años.

Las características de construcción de las represas agrícolas dependen de su localización y de las tierras. Ordinariamente el ancho de la parte superior no debe ser menor de 8 pies, de manera que pueda usarse un camión a lo largo de una represa para su inspección, trabajos de mantenimiento y reparación de los daños causados por las inundaciones. Si no es práctico emplear la parte superior de la represa como camino, el ancho de la corona puede ser de 4 pies en los diques que tengan menos de 6 pies de ancho, y de 6 pies en los que tengan de 6 a 12 pies de ancho.

Los declives laterales deben ser de 3 a 1 en los diques pequeños, a fin de que puedan establecerse los pastos y segarse las hierbas. Los tractores con carriles de oruga pueden funcionar en declives de 3 a 1, aunque son preferibles los menos pendientes.

Si no es posible construir los diques con declives laterales planos, el declive puede ser más pendiente, según lo necesiten la estabilidad de la tierra y otros requerimientos de construcción. Sin embargo, deben planearse siempre cuidadosamente los métodos de mantenimiento.

El área en la que descansarán las represas debe limpiarse de maleza y árboles, extrayendo los tocones y raíces y removiendo la tierra superficial antes de que se inicie la construcción. El área de cimentación debe ararse para proporcionar una buena liga entre ella y la represa. Puede ser conveniente una zanja de tierra vegetal si existen mantos arenosos u otros planos débiles. La zanja de tierra vegetal debe tener ordinariamente de 4 a 6 pies de profundidad y de 3 a 6 pies de ancho, rellenándose con una tierra casi impermeable. Es aconsejable construir la represa colocando y consolidando capas delgadas de tierra. Otra práctica deseable consiste en esparcir tierra superficial sobre la represa par obtener un buen plantío de hierba, y en áreas húmedas es aconsejable el mantenimiento de las represas y diques por medio del pastado. Una buena capa de tierra vegetal evita la erosión, y el hollado del ganado en una represa disminuirá el peligro de los roedores.

Cuando sube el agua, las cuadrillas de trabajadores deben estar listas para emplear sacos de arena y otros medios de protección para los diques y represas.

EL PROBLEMA MÁS COMÚN del mantenimiento de los sistemas de desagüe es el conservar bajo control la vegetación indeseable en las zanjas abiertas, ya que de otro modo un sistema de desagüe pierde pronto mucho de su eficacia. Una zanja de 15 pies de ancho y 4 pies de profundidad en Louisiana tenía sólo un décimo de su capacidad de diseño original, sólo 2 años después de haber sido excavada. El daño se debió a un crecimiento abundante de hierbas e índigo. Este es un ejemplo extremo, pero la maleza y los árboles sin control pueden disminuir la capacidad de una zanja en una tercera parte o la mitad de su capacidad total de transportación en 3 ó 5 años. Los cercados y otras obstrucciones disminuyen también la capacidad de transportación de las zanjas.

Deben efectuarse operaciones regulares de mantenimiento para controlar la vegetación. Se requiere mucha mano de obra para cortar la maleza y los árboles pequeños, remover las obstrucciones y reparar las compuertas. La mano de obra es tan costosa que siempre que es posible se escogen otros métodos.

Generalmente es aconsejable y posible en las áreas húmedas el obtener una densa cobertura de hierbas para estabilizar los bordos y mesetas de las zanjas. Una buena cobertura de hierba disminuirá el crecimiento de maleza y árboles y reducirá la mano de obra necesaria, porque una vez establecida puede conservarse segándola, pastándola, mediante el empleo de substancias químicas o con una combinación de esos sistemas.

La siega como medida de conservación de los bordos de refuerzo, meseta y zanjas, es económica y eficaz si los declives laterales no son muy pendientes. Como medida de seguridad los declives laterales en donde tengan que funcionar tractores agrícolas, deben ser de 4 a 1, o más planos. Los desagües superficiales se construyen ordinariamente con declives laterales muy planos y la siega es una práctica común de mantenimiento.

Los declives laterales poco pendientes necesitan mucha excavación y derecho de paso para que se usen generalmente en zanjas profundas de salida. Sin embargo, puede segarse parte de los bordos empleando una segadora en que las hojas queden a un ángulo de 45°. Puede hacerse un trabajo eficaz con una segadora de ese tipo desde arriba de la meseta y desde el fondo de la zanja cuando esté seca.

El pastado del ganado ha conservado algunas zanjas de desagüe en buenas condiciones durante periodos de tiempo hasta de 20 años. El pastado evita el crecimiento de la vegetación indeseable; pero no debe permitirse que el ganado paste en exceso en las zanjas, ni tampoco debe dejarse que el gando tenga acceso a los bordos cuando están saturados o en las épocas de congelación y descongelación. Pueden emplearse cercados eléctricos temporales para controlar el pastado. No deben permitirse los cerdos en las zanjas, porque desarraigan la vegetación y causan la erosión excesiva de los lados de las zanjas. A menudo es conveniente excavar un depósito de agua para los

cerdos cerca de las zanjas, impidiendo su acceso a las de desagüe por medio de cercados.

Las rampas construidas a intervalos permiten que el ganado entre y salga de una granja sin necesidad de trepar por los bordos. Las rampas pueden construirse con pendientes de 3 a 1 ó de 4 a 1, y pueden tener de 6 a 10 pies de ancho.

LOS INCENDIOS EN INVIERNO o a principios del verano, cuando la vegetación está seca pero la tierra está húmeda, pueden proporcionar una represión satisfactoria de la vegetación indeseable en las zanjas de desagüe. Un viento ligero ayuda a propagar un incendio rápido a través de la maleza y hierbas altas. Si la zanja se incendia cuando la tierra está helada, hay poco peligro de que el incendio quede fuera de control. El método es mucho más eficaz si se corta y amontona la maleza.

Algunos terratenientes y empresas de desagüe han empleado quemadores de aceite para reprimir la vegetación por medio de incendios regulares durante la estación de crecimiento. Ordinariamente el primer incendio destruirá la vegetación verde y el crecimiento raquítico, y un segundo incendio aproximadamente 2 semanas más tarde, destruirá toda la materia seca que quedó después del primero. Debe usarse el fuego con cuidado, especialmente cuando hay cosechas y estructuras cercanas.

SE EMPLEAN EXTENSAMENTE SUBSTANCIAS químicas, tales como el 2,4-D y 2,4,5,-T, para reprimir la vegetación indeseable. Los agricultores que no han usado esas substancias harán bien en probarlas antes de llevar a cabo operaciones extensas, a fin de calcular los costos y las cantidades que se requieran para una represión eficaz. Debe tenerse cuidado al aplicarlas para evitar que las substancias dañen las cosechas vecinas. Las cosechas de hojas anchas y algunas cosechas de jardín son especialmente susceptibles a ellas. Los ésteres del 2,4-D pueden esparcirse hasta media milla o más, y destruir las plantas de algodón. Las empresas químicas han preparado boletines informativos sobre el empleo de sus productos.

JOHN G. SUTTON *ha sido ingeniero de desagües y miembro del personal de ingeniería en Washington del Servicio de Conservación de Tierras desde 1939, y se unió al Departamento de Agricultura desde 1925.*

El uso de bombas para el desagüe

John G. Sutton.

EL USO DE BOMBAS para desagüe ha hecho posibles muchos grandes proyectos de desagüe, uno de los cuales es el proyecto del Zuyder Zee emprendido por el gobierno de los Países Bajos.

Durante muchos siglos los holandeses han estado recuperando tierra del mar y desaguando lagos mediante la construcción de diques, plantas de bombeo y sistemas de desagüe. Las nuevas tierras han aumentado grandemente la producción agrícola y la prosperidad general de los Países Bajos.

Sus primeros esfuerzos para la recuperación de la tierra se iniciaron poco después del año 1,200 después de Jesucristo, y antes del año 1300 después de Jesucristo se habían recuperado aproximadamente 80,000 acres. La recuperación ha continuado constantemente desde entonces, a pesar de las demoras ocurridas cuando las tempestades han roto los diques y han causado grandes pérdidas de vidas y propiedades, o cuando se abrieron brechas en los diques durante la guerra, causando inundaciones que destruyeron edificios y estructuras, llenaron los canales de sedimentos y dejaron que la perjudicial agua salada cubriera la tierra. En cada una de esas ocasiones los holandeses han hecho las reparaciones necesarias y siempre han reconstruido sus diques.

En los 750 años durante los cuales los holandeses han efectuado ese trabajo, han recuperado aproximadamente .... 1.453,000 acres, a los cuales el proyecto

del Zuyder Zee ha contribuido con .. 168,000 acres.

El primer proyecto dependía de compuertas de marea y desagües por gravedad. La introducción de los molinos de viento para bombear los desagües, hace aproximadamente 400 años, constituyó un adelanto de gran importancia y por medio de ellos desaguaron cientos de miles de acres en los siglos XVI y XVII. Algunas de las tierras se encuentran a más de 12 pies bajo el nivel del mar. Durante el siglo pasado los pintorescos molinos de viento han sido reemplazados en gran parte con motores de vapor de combustión interna y eléctricos que hacen funcionar las bombas.

LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA sobrepasan a los Países Bajos en la superficie desaguada por medio de bombas.

Muchos proyectos norteamericanos incluyen de 3,000 a 20,000 acres. Los tipos principales de tierras recuperadas por medio del desagüe con bombas incluyen lechos de ríos, lagos y planicies costeras, tierras de turba y tierras de riego. Ha aumentado el interés en las pequeñas plantas de bombeo para el desagüe de granjas individuales, debido al aumento de energía eléctrica disponible, tractores y motores de combustión interna para hacer funcionar las bombas.

Las plantas de bombeo para desagüe que dan servicio a grandes superficies en los Estados Unidos de Norteamérica, están localizadas principalmente en Illinois, Iowa, Missouri, Louisiana, Florida y California. En el censo de 1950, 378 empresas de desagüe informaron estar empleando bombas que daban servicio a 1.696,586 acres. Esto no incluye las plantas de bombeo en los estados mencionados como estados de desagües de condado, ni incluye tampoco datos de las empresas de riego que han instalado sus propias plantas de bombeo para desagüe.

El área en que se emplearon bombas en 1950 fue de 694,023 acres en California, 315,363 acres en Illinois, 293,124 acres en Florida, 179,266 acres en Louisiana y 67,217 acres en Missouri. En Iowa, un estado de desagües de condado, se empleaban bombas en 81,750 acres en 1940. Se han instalado plantas de bombeo que desaguan superficies más pequeñas por las empresas de desagüe que operan en Indiana, Michigan, Wisconsin, Minnesota, Nebraska, Georgia, Arkansas, Texas, Arizona, Idaho, Oregon y Washington.

Todos esos proyectos han recuperado tierras pantanosas y de desbordamiento que de otro modo serían de poco valor para la agricultura, y la fertilidad de la tierra desaguada ha justificado los costos. Muchas de esas tierras se encuentran entre las más fértiles del país, y en gran parte son planas y bajas y, por lo tanto, fáciles de regar.

SE ENCUENTRAN EJEMPLOS de los beneficios derivados del desagüe por medio de bombas en los distritos de desagüe con bombas en la parte alta del Valle del Mississippi. Se cultivaron las tierras más elevadas entre las tierras bajas en los primeros años; pero los agricultores a menudo perdían sus cosechas debido a las inundaciones causadas por el río. Aproximadamente en 1900 los terratenientes iniciaron el intenso desarrollo del área construyendo represas y plantas de bombeo.

Muchos de los primeros intentos de desagüe sólo significaron fracasos. La apertura de brechas en las represas durante las inundaciones destruyó las cosechas y dañó las carreteras y edificios. Cuando se rompen las represas puede formarse un lago de varias millas de largo, y el fuerte y constante movimiento de las aguas debido a las grandes distancias sobre las que sopla el viento, destruye a menudo una represa. Cada vez que se rompían las represas se construían más altas, y después de la grave inundación de 1927, tanto el Gobierno Federal como los de los estados suministraron ayuda económica para la reconstrucción de los diques.

Se cometieron costosos errores al instalar las primeras plantas de bombeo. A menudo se daba muy poca atención a la obtención de equipo eficiente, y las bombas no eran apropiadas para la carga que tenían que manejar. A veces no se hacían provisiones para variar la velocidad de

las bombas de acuerdo con los requerimientos de succión. Como muchos de los tubos de descargo no estaban sumergidos, era necesario bombear contra la succión máxima hasta la parte superior de la represa. Se dio muy poca atención al diseño de las bombas de acuerdo con sólidos principios hidráulicos. Las plantas se descuidaban con frecuencia, y el equipo se destruía por falta de lubricación y reparaciones. Muchos operadores no ajustaban la velocidad de las bombas aunque podían hacerlo, y muchas de ellas se hacían funcionar a plena capacidad a fin de que el operador pudiera terminar más pronto su trabajo sin tener en cuenta el desgaste del equipo ni los costos de operación.

Después de costosas experiencias se desarrollaron principios eficientes de diseño y funcionamiento.

Muchos de los distritos de desagüe apenas comenzaban a iniciar sus trabajos cuando ocurrió la depresión agrícola de las décadas de 1920 y 1930. Los impuestos sobre desagües eran muy altos y muchos no podían pagarlos debido a la carga de los préstamos ya existentes, muchos de los cuales fueron financiados nuevamente por la Corporación Financiera de Reconstrucción, aceptando pagos menores los tenedores de bonos.

Es muy probable que tanto los tenedores de bonos como los terratenientes originales habrían salido beneficiados desde un punto de vista financiero si hubieran podido conservar sus inversiones durante la depresión, ya que gran parte de la tierra tiene ahora un valor de varios cientos de dólares por acre y puede producir hasta 125 bushels de maíz por acre.

El costo total del desagüe en la parte alta del Valle del Mississippí, incluyendo represas, desagües y plantas de bombeo, tenía un promedio original de 40 a 100 dólares por acre. El costo de bombeo antes de la guerra era de 1 a 3 dólares por acre, incluyendo intereses, depreciación y gastos de operación. Los costos en 1955 eran del doble o mayores.

Al planear un desagüe eficaz por medio del bombeo, es sumamente importante la selección de bombas y motores y la construcción de la planta de bombeo en tal forma que tenga la capacidad adecuada para el máximo de succión. Las pérdidas de las cosechas pueden ser muy fuertes durante los periodos de lluvias abundantes si la planta de bombeo es demasiado pequeña, y ese era el defecto de muchas de las plantas de bombeo originales.

En los siguientes párrafos se dan descripciones del equipo actual utilizado en las empresas de desagüe que se recomienda para las capacidades requeridas en todas las principales localidades de bombeo. En otras áreas se necesitan muchas bombas para el desagüe, pero la capacidad de bombeo puede determinarse comparándolas con algunas de las áreas descritas.

LAS TIERRAS BAJAS QUE SE ENCUENTRAN a lo largo de la parte superior de los ríos Mississippi e Illinois incluyen 450,000 acres, a los que dan servicio las bombas de desagüe de Illinois, Iowa y Missouri. Las tierras se encuentran a lo largo del río Illinois al Sur de Hennepin, Illinois, y a lo largo de la parte superior del río Mississippi, entre Savanna, Illinois y St. Louis Missouri.

En el área se encuentran aproximadamente 70 distritos de bombeo que varían de 1,500 a 20,000 acres. La mayor parte de ellos se extienden en 5 a 10 millas a lo largo del río y comprenden las tierras bajas que ordinariamente tienen un ancho de 2 a 4 millas desde el lecho del río hasta las colinas cercanas. Se construyeron represas para proteger los distritos contra el desbordamiento de los ríos. Se emplean canales de desviación que impiden que el agua de las colinas llegue a las tierras bajas. Las zanjas abiertas y los sistemas se tubería recogen el agua de desagüe y la llevan a la parte inferior de los distritos, y en ella las plantas de bombeo elevan el agua sobre los diques y la vacían al río. Muchos de los distritos de desagüe tenían desagües de gravedad utilizando canales y compuertas. Sin embargo, la construcción de presas para la navegación ha acabado casi por completo con el uso de compuertas y se hace necesario bombear el agua de desbordamiento.

El censo de desagües de 1950 anotaba 47 empresas en Illinois, y sus plantas tenían una capacidad calculada de planta de 21,020 caballos de fuerza, dando servicio a 315,363 acres. Las bombas tenían un promedio de capacidad calculada de 10.6 galones por minuto por acre.

La energía necesaria para 23 de las empresas de desagüe se obtenía con motores de combustión interna con un total de 9,800 caballos, y la mayoría de ellos eran de tipo "Diesel". La energía para 16 de las empresas se obtenía con motores eléctricos, con una capacidad calculada total de 5,123 caballos. Había 76 bombas centrífugas con un promedio de capacidad de 28,200 galones por minuto cada una, y se usaban tan extensamente debido a la elevada succión, de 15 a 25 pies, contra la que tienen que funcionar. Había 11 bombas de flujo mixto con una capacidad promedia de 40,000 galones por minuto, y 10 bombas de flujo axial o de hélice con capacidad promedia de 18,100 galones.

En las 17 plantas localizadas en la parte superior del Valle del Mississippí en Illinois, Iowa y Missouri, las grandes plantas de bombeo proporcionaban un desagüe adecuado cuando la capacidad variaba de 0.33 a 0.55 de pulgada de profundidad de la vertiente en 24 horas. Esto es igual a una variación aproximada de 6 a 10 galones por minuto por acre de capacidad de desagüe. Una pulgada de desbordamiento durante 24 horas equivale a 18.86 galones por minuto por acre. Las capacidades eran adecuadas para el desagüe por bombeo de superficies de 3,000 a 20,000 acres. Los distritos se encontraban a lo largo del río Illinois abajo de Peoria, y a lo largo de la parte superior del Valle del Mississippí, entre Alton, Illinois y Burlington, Iowa. Las variaciones de capacidad en esas áreas se relacionaban con la cantidad de filtración, desarrollándose una fórmula para determinar el desbordamiento. En las áreas menores de 3,000 acres, en la parte superior del Valle del Mississippí, se determinan las capacidades de bombeo requeridas calculando la capacidad requerida con zanjas abiertas para obtener un desagüe adecuado, añadiendo la filtración calculada y deduciendo el almacenamiento.

Las empresas de bombeo de Louisiana están localizadas en el delta del Mississipí y en las áreas costeras. Los diques e instalaciones de bombas son más bajos que en la parte superior del Valle del Mississippí. La tierra a la que dan servicio las bombas de Louisiana aumentó 46% entre 1940 y 1950. En 1950, 30 empresas de desagüe por medio de bombas tenían una capacidad de 15,041 caballos de fuerza y una capacidad de bombeo de 4.282,000 galones por minuto. Las plantas daban servicio a una área de 179,266 acres, o sea un equivalente de 23.9 galones por minuto por acre, o una profundidad de 1.27 pulgadas en 24 horas en tierra desaguada. Las normas de diseño del Departamento de Agricultura requerían mayor capacidad de planta. Había 37 bombas centrífugas, 32 de flujo axial, una de flujo mixto y 32 no clasificadas. Como las succiones son más bajas, se usan más extensamente las bombas de flujo axial que en la parte alta del Valle del Mississippí. La energía necesaria para el funcionamiento de las bombas se obtenía principalmente con motores de combustión interna, pero se usaban algunos motores eléctricos y de vapor.

Las capacidades de planta requeridas para Louisiana y Texas son considerablemente mayores que las requeridas en la parte superior del Valle del Mississippí.

A lo largo de la costa del Golfo y para terrenos planos menores de 3,000 acres se recomienda una capacidad de desbordamiento de 3 pulgadas en 24 horas, incluyendo las capacidades de bombeo y de almacenamiento. El almacenamiento se computa como disponible en áreas que están más abajo que las tierras cultivadas más bajas y que el nivel normal de agua. Puede hacerse caso omiso del escaso almacenamiento en las zanjas. Si el depósito de almacenamiento en un distrito de bombeo es de 1 pulgada en 24 horas, la planta de bombeo debe diseñarse para una capacidad no menor de 2 pulgadas en 24 horas. La cifra combinada de capacidad de 3 pulgadas en 24 horas se

aplica a tierras que se usan principalmente para el cultivo de caña de azúcar. Generalmente es aconsejable una capacidad mayor para cosechas especiales o de mercado, o si la propiedad requiere mayor protección. Las capacidades combinadas de bombeo y de almacenamiento pueden ser de 2 pulgadas en 24 horas si el arroz o las pasturas son las cosechas principales. Esas proporciones se aplican al área que se encuentra a lo largo de la costa del Golfo en Louisiana y Texas, al sur de una línea que va de Natchez, Missouri, a Natchitoches, Louisiana, y que sigúe luego, en dirección aproximadamente paralela a la costa del Golfo, hasta Victoria, Texas.

Al norte de esa línea y en Arkansas, la capacidad total de bombeo y la cantidad de almacenamiento pueden disminuirse en un 20% a 2.4 pulgadas en 24 horas, en tierras que se usen principalmente para el cultivo de algodón, y a 1.6 pulgadas en 26 pulgadas, en tierras en que se cultiven arroz o pasturas.

En muchos de los distritos prósperos se comenzó con capacidades más pequeñas que han ido aumentando.

En Florida la mayor parte de las tierras que tienen servicio de bombeo se encuentran en el lago Okeechobee-Everglades al sur del estado, y en su mayoría son tierras de turba. El promedio de caída de los grandes canales de salida es aproximadamente de 0.2 de pie por milla. Aproximadamente el 60% del total anual de lluvias de 55 pulgadas ocurre de junio a septiembre, cuando se aminoran las actividades de labranza y puede disminuirse grandemente el bombeo en las tierras de cosechas de mercado.

Muchas de las bombas pueden bombear desde las tierras que desaguan o hacia ellas, y de ese modo conservan las mesetas de agua a una profundidad bastante uniforme. Comúnmente se emplea el término "control de agua" para incluir ya sea el ascenso o descenso de la meseta de agua, como las condiciones lo requieran. Sin embargo, la mayor parte del bombeo se destina al desagüe. El bombeo hacia la tierra se hace ordinariamente en febrero o marzo, cuando las lluvias son leves y se siembran las cosechas de primavera.

Casi todas las bombas son del tipo de flujo axial o de hélice, y algunas son del tipo de tornillo sinfín. Las bombas de hélice más pequeñas bombean ordinariamente de 10,000 a 30,000 galones por minuto, y las succiones máximas de bombeo son de 5 a 9 pies, siendo el promedio de succión de 4 a 5 pies. Casi no es necesario el bombeo para desagüe cuando las lluvias son leves y el nivel del lago Okeechobee es bajo.

Las tierras a las que las bombas dan servicio en Florida aumentaron de acres 185,693 en 1940 a 293,124 acres en 1950. Los informes de capacidades de bombeo fueron en promedio de 28.6 galones por minuto por acre, o sea una profundidad de 1.53 pulgadas en 24 horas. El promedio de capacidad de bombeo en 1940 fue de 18.2 galones por minuto por acre, o una profundidad de 0.96 de pulgada en 24 horas.

En 1950 las 99 empresas de Florida tenían motores con una capacidad de 28,29 caballos, y casi todos ellos eran de tipo "Diesel". De las 354 bombas anotadas en 1950, 341 eran de flujo axial o hélice, y 5 de flujo mixto.

Para los desagües con zanjas abiertas en los Everglades de Florida, la junta de revisión de ingeniería desarrolló y recomendó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{69.1 + 9.6}{M}$$

en la cual Q es el desbordamiento en pies cúbicos por segundo por milla cuadrada de área de desagüe, y M es el área de desagüe en millas cuadradas.

L. A. Jones, del Departamento de Agricultura, ha usado esa fórmula para preparar planos para el control de agua en las tierras orgánicas de la región. La fórmula proporciona 1 pulgada de profundidad de desbordamiento en 24 horas, de 16 millas cuadradas; 0.75 de pulgada, de 43 millas cuadradas, y 0.5 de pulgada, de 322 millas cuadradas. La fórmula supone que la tierra quedará inundada durante cortos periodos después de las lluvias abundantes, pero no pretende pro-

porcionar protección absoluta contra las inundaciones.

Muchos de los distritos de bombeo del norte de los Everglades dan servicio de 5 a 13 secciones de tierras, en muchas de las cuales se cultiva caña de azúcar. La mayoría de las plantas de bombeo se diseñaron para remover una pulgada de desbordamiento en 24 horas. Esa proporción generalmente es suficiente para el cultivo de caña de azúcar en tierras orgánicas de la región, aun en áreas más pequeñas que las indicadas por la fórmula.

Sin embargo, las cosechas de mercado han sufrido pérdidas cuando la capacidad ha sido sólo de una pulgada en 24 horas. B. F. Clayton, del Departamento de Agricultura, recomienda las siguientes proporciones para tierras orgánicas en las que se cultivan cosechas de mercado. 3.0 pulgadas para una sección de tierra o menos, 2.0 pulgadas para 2 a 3 secciones de tierra, 1.4 pulgadas para 4 a 9 secciones y 1.0 pulgadas para 10 a 16 secciones. Esas proporciones son aproximadamente las mismas de la fórmula de desbordamiento citada antes. Un extenso registro de bombeo en la estación experimental de los Everglades, en Belle Glade, Florida, indicó que se necesitaba un desbordamiento de 3 pulgadas en 24 horas para proteger las cosechas en áreas de una milla cuadrada, o menos.

Muchas plantas de bombeo se han instalado para dar servicio a tierras de pasturas. Ordinariamente las plantas desaguan de 2 a 4 secciones de tierra. Generalmente ha sido adecuado el desbordamiento de 1 a 2 pulgadas proporcionado comúnmente para esas áreas de pastos.

EN CALIFORNIA LAS BOMBAS DE DESAGÜE de baja succión desaguan los lechos de los ríos, y las bombas de succión elevada en los pozos de desagüe desaguan las tierras de riego. El proyecto de recuperación de las tierras del delta a lo largo del río San Joaquín es típico de los bombeos de desagüe de baja succión, y en él se han recuperado grandes áreas de tierras orgánicas y minerales por medio de diques y de bombeos.

Las succiones de bombeo varían considerablemente con la succión máxima, y a menudo son de 10 a 20 pies. En muchos de los distritos de bombeo el agua llega a las represas por medio de tubos para usarse en los riegos. La filtración y el exceso de aguas de riego afectan las cantidades de agua que deben bombearse.

En 1940, en California, 135 empresas de desagüe y de riegos daban servicio por medio de bombas de desagüe a 1.220,062 acres con una capacidad total de 5.727,787 galones por minuto, y casi todas ellas funcionaban con energía eléctrica.

El bombeo de baja succión se hace principalmente con bombas centrífugas y de hélice. Las 78 bombas de hélice daban servicio a 122,947 acres y tenían una capacidad promedia de 5.5 galones por minuto por acre. Las 168 bombas centrífugas daban servicio a 456,688 acres y tenían un promedio de capacidad de 6.7 galones por minuto.

California tiene también muchas bombas de desagüe de pozo profundo para tierras de riego, que se clasifican como bombas de turbina, y 334 de ellas daban servicio a 377,760 acres en 1940. Los informes de promedio de capacidad eran de 1.1 galones por minuto por acre.

Muchas bombas de turbina de pozo profundo tienen baja capacidad por acre, pero los informes de promedios de capacidad fueron anormalmente bajos. Muchos pozos de desagüe bombean de 2 a 4 galones por minuto por acre.

SE NECESITAN INVESTIGACIONES para determinar la posibilidad de desaguar las tierras de riego por medio del bombeo. Ordinariamente es más barato el desagüe por medio de zanjas o tuberías de ladrillo si las capas permeables de la tierra se encuentran a una profundidad de 8 a 12 pies bajo la superficie.

Puede ser practicable el desagüe con bombas en las tierras de riego si se encuentran capas conductoras de agua de arena o grava a profundidades de 20 a 100 pies, y si los desagües superficiales no son eficaces. Generalmente se necesitan pruebas de bombeo para determinar el rendimiento de agua y el abatimiento de los pozos. Si los resultados son fa-

vorables, el diseño de las bombas se basa en los resultados obtenidos en pozos de prueba. La mayoría de las bombas de turbina de pozo profundo empleadas para desagüe tienen una capacidad de 300 a 1,500 galones por minuto, y dan servicio de 100 a 640 acres.

Si el agua se usa para riegos, gran parte del costo de bombeo puede adjudicarse a los riegos. A menudo las empresas de riegos instalan bombas con el doble fin de hacer bajar una meseta de agua alta y de obtener agua adicional para los riegos.



Se obtiene una buena eficiencia de operación de las plantas si se seleccionan las bombas a base de la cantidad de bombeo que vaya a efectuarse. Si una planta funciona durante la mayor parte del tiempo, es conveniente escoger bombas más eficientes, aunque con ello se aumenten los costos iniciales. Si se requiere gran capacidad, pero las capacidades totales anuales de bombeo van a ser menores, puede ser más económico escoger bombas menos costosas de alta capacidad aunque con eficiencia de funcionamiento más baja. Las pequeñas unidades de bombeo de granja que funcionan solamente durante una pequeña parte del tiempo pueden ser bastante sencillas.

Los tipos de bombas que se emplean para desagüe incluyen las de hélice o de flujo axial, las de flujo mixto, las centrífugas y las de turbina.

La bomba de flujo axial, de tornillo sinfín o de hélice, se adapta especialmente al bombeo de desagüe con cargas reducidas. El impelente tiene varias paletas semejantes a las de la hélice de un barco. Las paletas se colocan en el eje a un ángulo determinado, de acuerdo con la carga y velocidad. Al igual que en una bomba centrífuga, no cambia la dirección del flujo a través de la bomba. Debido a la acción de tornillo se produce un movimiento espiral del agua que puede corregirse con aletas de difusión. Este tipo se ha usado extensamente en donde la succión estática máxima es menor de 10 pies. Una desventaja consiste en que la descarga disminuye rápidamente con cargas superiores a aquellas para las que ha sido diseñada la bomba. La potencia necesaria tiende a subir con cargas mayores, así que debe suministrarse la energía adecuada para mover la bomba a la succión máxima. Deben determinarse con precisión la succión estática máxima y la carga total máxima con las que tiene que funcionar esta clase de bombas.

Este tipo de bomba puede construirse de modo que se invierta el flujo si se necesita el bombeo tanto para riegos como para desagües, lo que constituye una ventaja, especialmente cuando el control de la meseta de agua es importante.

Se ha fabricado una bomba barata de tipo de hélice con un impelente parecido a la hélice de un barco, colocado dentro de una caja que consiste en un trozo recto de tubo de acero soldado. Se han instalado muchas de ellas por los agricultores, que las usan para desaguar campos menores de 200 acres. Se sabe muy poco sobre su eficiencia, aunque algunas de ellas se han construido con cajas tan delgadas que las han roto los trozos de raíces que pasan a través de coladeras.

La bomba de flujo mixto tiene un impelente con paletas abiertas y curvas que combina los principios del tornillo sinfín y de la bomba centrífuga para aumentar la carga de presión. Funciona eficientemente con cargas mayores que la bomba de hélice. Con un solo cambio de velocidad, una bomba típica de flujo mixto funcionó durante las pruebas con una eficiencia de 70 a 80% en todas las cargas, desde 6.5 hasta 26 pies, sin que la descarga disminuyera considerablemente con las cargas mayores. El impelente de tipo abierto facilita el paso de los desechos.

La bomba centrífuga espiral de doble succión se usó extensamente en las primeras plantas de desagüe. El impelente de tipo Francis con paletas curvas, es especialmente eficiente para succiones de 15 a 25 pies. Las bombas centrífugas tienen larga vida y son confiables, y generalmente tienen mayor capacidad que las bombas de tornillo sinfín o de flujo mixto de igual tamaño, especialmente con las cargas mayores.

La bomba de turbina de pozo profundo se usa para riegos. La mayoría de los pozos tiene una profundidad de 30 a 100 pies. Esta bomba consta de 3 partes: la cabeza, los tazones y la columna de descarga. Un eje que va de la cabeza a los tazones hace girar el impelente. Tiene una coladera que impide que la arena gruesa y la grava penetren a la bomba. El impelente se coloca cerca del fondo del pozo y fuerza el agua a través de la columna de descarga hasta la superficie. La mayoría de las bombas de este tipo varían en capacidad de 300 a 1,500 galones por minuto.

DEBE HABER UN AJUSTE DE VELOCIDAD en las bombas que funcionan bajo succiones variables a fin de obtener la mayor eficiencia. Las bombas de desagüe deben funcionar más lentamente cuando trabajan con cargas más bajas. En la mayoría de las pequeñas instalaciones eléctricas no se justifica el control de la velocidad porque el inicial del equipo necesario es muy alto. Sin embargo, el control de velocidad es conveniente en las bombas que se usan considerablemente, a fin de obtener un funcionamiento eficiente con succiones bajas. A veces se conectan dos motores eléctricos que funcionan a velocidades diferentes al mismo eje, para proporcionar cierta regulación de la velocidad. Las unidades movidas con bandas pueden tener poleas de diferentes tamaños en las bombas y motores, a fin de ajustar la velocidad. Los motores de combustión interna pueden funcionar a velocidades más bajas con succiones bajas, proporcionando así un control satisfactorio de la velocidad.

Las unidades de bombeo conectadas directamente tienen una ventaja sobre las movidas con bandas, porque se eliminan las pérdidas de energía debidas a la transmisión. Además, la unidad conectada directamente es más compacta. Se requiere equipo de transmisión si los motores y bombas funcionan a diferentes velocidades normales. Las bandas en V y las de cuero son los tipos que se usan generalmente, aunque a veces se instalan mandos por medio de cadenas o de engranes. Es muy importante la alineación correcta de la bomba con el motor, y las bandas ajustadas debidamente tienen una eficiencia de 95 a 98% si la alineación es correcta.

En las grandes plantas de desagüe es conveniente tener dos o más bombas como medida de protección para casos de descompostura o emergencia. En esas grandes plantas es muy conveniente contar con una proporción variable de bombeo, especialmente cuando el desbordamiento es menor. Se obtiene una gama conveniente de proporciones de bombeo teniendo una bomba con la mitad de la capacidad de la segunda unidad. En las grandes plantas que desaguan varios miles de acres, tres unidades del mismo tamaño proporcionan una gama conveniente.

El tamaño de la bomba puede computarse de modo preliminar bajo la base de que el agua fluirá en proporción de 8 a 10 pies por segundo en la descarga, y entonces hay que determinar el desbordamiento máximo diario que haya que bombear. Existe considerable diferencia en la capacidad de las plantas para localidades diversas. El tamaño requerido se determina mejor observando las condiciones bajo las cuales las bombas funcionan satisfactoriamente y suministran el desagüe necesario.

La succión estática es la diferencia de altura entre el agua de la succión y la descarga si el tubo de descarga está sumergido. Si no lo está, la succión estática es la diferencia de altura desde la línea de centro del agua en el tubo de descarga en el punto más alto de ésta y la altura del agua en la succión.

La carga total de la bomba es el equivalente en pies de agua de la presión total con la que funciona la bomba, y

es igual a la succión estática más la fricción y otras pérdidas del sistema de tubería.

Esas pérdidas incluyen la pérdida de entrada cuando el agua penetra al tubo de succión, las pérdidas de fricción en los tubos de succión y descarga, las pérdidas debidas a desechos u obstrucciones en las tuberías, las causadas por la penetración del aire en el tubo de descarga cuando funciona en un vacío y las pérdidas de carga de velocidad al final del tubo de descarga.

Al planear las plantas de bombeo para que funcionen eficientemente y al calcular los costos, es especialmente importante determinar las succiones estáticas máximas, mínimas y promedias de las bombas. Los fabricantes de bombas necesitarán esa información a fin de suministrar un equipo eficiente. Las succiones estáticas controlarán la selección del tipo de bomba. La bomba de flujo axial o de hélice se adapta a cargas totales que ordinariamente sean menores de 10 pies. Las bombas de flujo mixto pueden funcionar eficientemente con cargas de 6 hasta 26 pies, y las bombas centrífugas pueden diseñarse para un bombeo eficiente con cargas totales de más de 12 pies.

La variación en las succiones que puedan encontrarse es de primordial importancia para determinar el tamaño máximo de los motores. La energía máxima para hacer funcionar una bomba varía en proporción con la succión de bombeo. Generalmente la energía necesaria para una bomba centrífuga llega al máximo en las succiones menores y tiende a disminuir en las mayores. Por otra parte, en una bomba de hélice los caballos de fuerza al freno requeridos, tienden a aumentar a medida que aumenta la succión. Se necesita una investigación para determinar las succiones requeridas en toda la gama de condiciones de bombeo, a fin de planear un equipo eficiente.

LAS CURVAS DE CARACTERÍSTICAS constituyen el medio usual de mostrar el funcionamiento de una bomba. Esas curvas muestran generalmente la descarga expresada en galones por minuto calculada contra la carga total en pies; los caballos de fuerza al freno calculados contra la descarga y la eficiencia de la bomba, como porcentaje, calculada contra la descarga. Se dan las tres curvas para cada velocidad si la bomba funciona a más de una.

La descarga de las bombas de desagüe disminuye a medida que aumenta la carga total si la velocidad es constante, y aumenta a medida que aumenta la velocidad si la carga total es constante. Los impelentes se diseñan para obtener la máxima eficiencia a cargas y velocidades específicas, y la eficiencia disminuye tanto a cargas mayores y menores que las especificadas, si la velocidad se mantiene constante. Los caballos de fuerza al freno que requiere el funcionamiento de la bomba dependen de su diseño y eficiencia.

Ordinariamente las bombas de desagüe pueden suministrarse con una eficiencia máxima un poco mayor de 80%. Una bomba bien diseñada debe tener una eficiencia superior a 70% en una amplia gama de succiones. A veces un fabricante suministra instalaciones de bombeo de acuerdo con las especificaciones del comprador en relación con los requerimientos de succión máxima y otros. El fabricante suministra generalmente un juego de curvas de características, y la mayoría de ellos basan esas curvas en las pruebas de la bomba efectuadas en la fábrica o en las de otras bombas semejantes.

La eficiencia de una bomba se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$e = \frac{\text{g.p.m.} \times H_t}{\text{c.f.f.} \times 3960 \times e_t}$$

En esa ecuación e es la eficiencia de la bomba, g.p.m. son los galones por minuto, H_t es la carga total de la bomba en pies, c.f.f. son los caballos de fuerza al freno o la energía del motor, y e_t es la eficiencia de transmisión de las bandas o engranes que conectan al motor con la bomba (proporción, por ejemplo, 97% es igual a 0.97).

En las unidades en que la bomba está conectada directamente al motor, e_t es igual a 100%, y los caballos de fuerza al freno son iguales a la energía aplicada

al eje de la bomba. En las unidades movidas por banda, e_t varía de 95 a 98%, y sólo ocurre una pequeña pérdida de energía.

EN LA MAYORÍA DE LAS INSTALACIONES de desagüe con bombas, la tubería de descarga debe ir sobre la parte superior de la represa a proximidad del mayor nivel de agua. Si la bomba no está sumergida el extremo de la tubería de descarga, debe quedar bajo el nivel más bajo de la descarga, a fin de que la bomba puede cebarse con facilidad. Esa colocación de la tubería de descarga permite que haya una acción de sifón en la tubería de descarga que disminuye la carga total de la bomba. La acción de sifón tiene el efecto de disminuir la energía requerida para el bombeo, y es muy importante obtener el beneficio total de ella si una bomba funciona durante la mayor parte del tiempo. Si el tubo de descarga queda sumergido, es conveniente instalar una válvula automática de compuerta en su extremo para evitar la inversión del flujo del agua a través de la bomba cuando ésta se para.

Un método alternativo consiste en colocar la tubería de descarga más arriba del nivel máximo de agua en el área de descarga. Este método es menos eficiente, pero se usa ordinariamente en plantas pequeñas en combinación con una bomba sumergida, haciendo innecesario el equipo para cebar la bomba y proporcionando un sistema práctico y seguro de funcionamiento automático sin que ocurra inversión de flujo cuando se para la bomba.

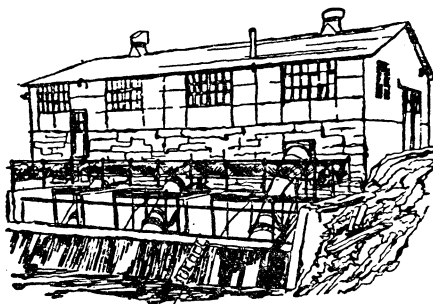
Las pérdidas de fricción en el tubo de succión deben disminuirse ensanchándolo de manera que el área de entrada del tubo sea de 2 a 4 veces mayor que el área del reborde de la bomba. Se recomienda una entrada redondeada para el tubo de succión, y la expansión de éste permite el bombeo muy bajo en el área de succión sin que la bomba pierda el cebado.

La tubería de descarga de las bombas grandes generalmente debe ser de 2 a 6 pulgadas mayores que el reborde de la bomba, debiendo hacerse la transición por medio de una sección de expansión corta. La expansión del extremo de un tubo de descarga sumergido mejorará la eficiencia de la planta a un costo bajo.

Las pérdidas de fricción, medidas en las pruebas de tubos de succión y de descarga, fueron de 1.9 a 4.3 pies, basándose en una velocidad de 10 pies por segundo en los rebordes de la bomba. Las pérdidas de fricción constituyen una proporción considerable del promedio de succión estática en las plantas de bombeo.

LA LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA de bombeo depende en gran parte de la topografía del área y de la localización de la salida en la que deben descargar las bombas. Si son posibles varias localizaciones, las condiciones de los cimientos, la construcción de zanjas de desagüe y la proximidad a los caminos, habitaciones y líneas de fuerza pueden determinar el sitio.

Debe seleccionarse un sitio en que haya materiales estables para la cimentación, lo que se determina por medio de muestreos de la tierra. La tierra en la que se coloquen los cimientos debe ser buena, debido a las vibraciones producidas en las grandes plantas de bombeo. Una buena cimentación es un factor de seguridad cuando ocurren inundaciones. Algunas grandes plantas de bombeo han sido destruidas al romperse las represas debido a la existencia de arenas movedizas u otros materiales inestables a proximidad de ellas.



Los edificios para los equipos de bombeo varían de acuerdo con el tipo de instalación, tamaño, clase de energía, tierras y condiciones de cimientos y con los de-

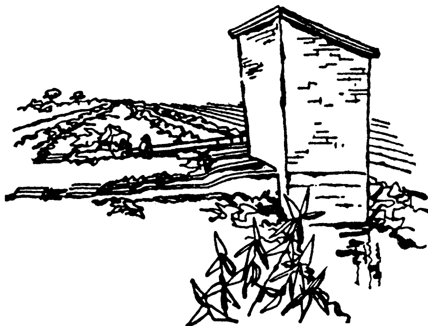
seos del propietario. Muchos distritos de desagüe tienen edificios atractivos a prueba de incendio, ya sea de mampostería o de acero, que descansan en pilotes. Algunos terratenientes han instalado unidades de bombeo en patines colocados en los bordos de las zanjas sin protección alguna. Debido al gran volumen de agua que pasa a gran velocidad a través de las plantas de bombeo de desagüe, son indispensables las cimentaciones sólidas y una área de succión bien diseñada para evitar la destrucción de ellas. Mientras más pequeña sea la planta es más amplia la selección de construcción, porque las fuerzas erosivas son menores. Un edificio, pequeño, resistente y a prueba de incendio es una buena inversión aun en las plantas de bombeo de granjas, ya que protege el equipo e impide que los niños y los extraños se acerquen a las bombas.

Para las grandes instalaciones se recomienda el uso de pilotes en la mayoría de las tierras minerales y orgánicas. Si la cimentación se hace en arcilla u otro material estable, pueden emplearse cimientos ensanchados para las unidades pequeñas, lo que hará que los costos de construcción sean considerablemente menores que si se usan pilotes.

Los pilotes deben sostener los muros del área de succión, muros laterales, cimientos de los motores y muros de los edificios.

El área de succión se usa a menudo com cimentación para la bomba o la bomba y el motor. Consiste frecuentemente de una depresión rectangular con muros en tres lados. La bomba puede descansar en una vigueta de acero con un tubo vertical de succión que se extiende hacia abajo dentro del área de succión a la distancia necesaria bajo el nivel de las aguas bajas. Este método es satisfactorio para las bombas sumergidas de tipo vertical y para las que se colocan sobre la superficie del agua y que requieren cebado. Otro método consiste en colocar la bomba al lado del área de succión. Ordinariamente el tubo de succión entra horizontalmente y se encorva hacia abajo dentro del área de succión. Los motores eléctricos pueden colocarse con la bomba en las viguetas que atraviesan el área de succión. Los motores "Diesel" deben descansar en una base firme que quede adyacente al área de succión.

La bomba o tubos de succión debe sumergirse a una profundidad adecuada, a fin de obtener un funcionamiento eficiente. En los planos originales puede asumirse una inmersión de 3 pies bajo el nivel normal de bombeo de aguas bajas en bombeos al nivel del mar. Si la bomba se instala a una altura de 1,000 pies sobre el nivel del mar, la inmersión



Una planta de bombeo para desagüe de granja bien planeada, con la descarga de la bomba en un vertedero de concreto.

mínima debe aumentarse a 4 pies. Estas cifras deben modificarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, basadas en los requerimientos de la bomba.

La distancia mínima entre la bomba y el tubo de succión a los muros laterales puede calcularse en 1.5 veces el tamaño de la bomba. Por ejemplo, una bomba de 10 pulgadas requiere una distancia mínima de 15 pulgadas a los muros laterales; pero también en esto deben seguirse las recomendaciones del fabricante. La distancia mínima entre el extremo de succión de la bomba y el fondo del área de admisión puede ser igual al tamaño de la bomba si las recomendaciones del fabricante no especifican lo contrario. Por ejemplo, una bomba de 10 pulgadas necesita una distancia de 10 pulgadas entre el fondo de la bomba o del tubo de succión y el piso del área de succión.

Es conveniente el almacenamiento de agua en el área de succión. Esta debe controlarse dentro de estrechos límites, a fin de proporcionar condiciones constan-

tes de funcionamiento. Si el almacenamiento disponible en el área de succión es reducido, la planta de bombeo absorberá rápidamente el agua en condiciones normales y la bomba absorberá aire y funcionará con menos eficiencia. Debe aumentarse la succión de bombeo, lo que hará necesario arrancar y parar frecuentemente la bomba. Un almacenamiento considerable en el área de succión con frecuencia hará posible eliminar el trabajo nocturno y puede resultar en un ahorro en los costos de mano de obra.

Los costos de bombeo en periodos de consumo mínimo pueden merecer consideración especial, ya que disminuyen los costos y el bombeo se hace en horas de escasa demanda. Un gran almacenamiento ayuda a los usuarios a aprovecharse de esta circunstancia. Si hay que desaguar grandes áreas, a menudo es aconsejable dejar unas cuantas hondonadas sin desaguar a fin de obtener cierto almacenamiento. Ordinariamente es conveniente el cavar la zanja principal que va a la planta de bombeo, haciéndola más ancha y profunda de lo necesario para proporcionar el almacenamiento requerido.

El funcionamiento automático es posible si se emplea energía eléctrica, especialmente cuando se trata de plantas pequeñas, para ahorrar gastos. Un flotador arranca el motor cuando el agua del área de succión sube a una altura predeterminada haciendo que la bomba comience a funcionar y que gradualmente baje el agua y con ella el flotador. El agua se bombea hasta un nivel determinado y entonces el flotador acciona un interruptor que corta la corriente al motor. Otro método consiste en emplear electrodos superiores e inferiores que accionan interruptotres que arrancan y paran la bomba.

Se necesitan precauciones especiales si es posible que se congele el área de succión. Puede conectarse un tobo vertical lleno de aceite en el que funcione el flotador de manera que refleje el nivel del agua en el área de succión. El flotador puede funcionar en aceite a temperaturas inferiores al punto de congelación. Ordinariamente no se requiere bombeo considerable en tiempo frío, y el funcionamiento manual de una bomba puede ser satisfactorio, removiéndose del agua el flotador o los electrodos.

Deben hacerse pruebas de bombeo si el comprador adquiere equipo bajo la base de eficiencia garantizada. La mayoría de los fabricantes pueden probar sus bombas en las fábricas antes de embarcarlas. Las pruebas de campo son costosas, pero por medio de ellas pueden apreciarse la eficiencia de toda la planta, incluyendo la eficacia de las tuberías y de la bomba.

En las granjas pequeñas las plantas de bombeo se instalan ordinariamente con el costo inicial como consideración primordial, empleándose cimentaciones poco costosas y un mínimo de equipo.

En muchos sitios los agricultores pueden desaguar económicamente sus campos por medio del bombeo. Las zanjas de salida de muchas empresas de desagüe no son lo suficientemente profundas para suministrar un desagüe adecuado de las tierras bajas, y a menudo es más económico instalar pequeñas unidades de bombeo para desaguar esas áreas bajas que construir zanjas de salida más profundas. Se encuentra otro ejemplo en las tierras bajas cercanas a los Grandes Lagos. A menudo el alto nivel de los lagos estorba la salida, produciendo pérdidas en las cosechas debidas a los malos desagües, y los diques bajos y las pequeñas plantas de bombeo han proporcionado un buen desagüe a muchos agricultores.

Ordinariamente esas plantas de bombeo son sencillas y poco costosas. El funcionamiento de la mayoría de ellas cuesta menos de 5 dólares anuales por acre, incluyendo intereses y depreciación. Manejan un pequeño volumen de agua y no producen grandes corrientes erosivas en las áreas de succión y descarga como ocurre en las plantas grandes. A menudo las bombas pequeñas se colocan en el declive de un bordo o se suspenden con viguetas a través de una zanja sin necesidad de cimientos permanentes ni cobertizos de madera, pudiendo emplearse tractores para moverlas.

Se usan extensamente las plantas de bombeo de granja que consisten de una bomba vertical sumergida con descarga

libre, que no requieren equipo de cebado y que pueden funcionar automáticamente si hay energía eléctrica disponible. Muchas líneas de fuerza pueden aceptar motores hasta de 7.5 caballos, y esto limita las bombas de baja succión a 2,000 galones por minuto, aproximadamente.

Puede calcularse la capacidad de las plantas de bombeo de granja como sigue: la capacidad de bombeo requerida es igual a la capacidad requerida de zanjas abiertas más la filtración, menos el almacenamiento.

La capacidad requerida de zanjas abiertas se dan en curvas que muestran los coeficientes de desagüe para varias cosechas y áreas de tierra que pueden obtenerse de los distritos de conservación de tierras. La filtración puede ser un factor importante si las zanjas abiertas penetran en mantos de arena o de grava cerca de los lagos o ríos. En esas condiciones, la filtración puede ser de 0.1 a 0.5 de pulgada cada 24 horas en toda el área de la vertiente hidráulica. Generalmente puede pasarse por alto la filtración si las zanjas se abren en tierras arcillosas o sedimentarias. El almacenamiento es la capacidad del área de succión, pantanos, estanques y zanjas para conservar agua entre su nivel normal y el nivel máximo, y se supone que ese almacenamiento tendrá efecto en un periodo de 24 horas.

La mayoría de las plantas de desagüe en la parte alta del Valle del Mississippí que desaguan tierras agrícolas, se usan para cosechas de campo y plantas que desaguan tierras agrícolas, se usan para cosechas de campo y plantas que desaguan menos de 3,000 acres, y han sido diseñadas para un desbordamiento de 0.75 a 1.5 pulgadas. En sitios en que hay que proteger propiedades, cosechas de mercado o de alto valor comercial, debe proporcionarse una capacidad mayor, que puede ser hasta de 4 pulgadas de una vertiente hidráulica en 24 horas. Se requieren capacidades mayores en las pequeñas áreas de Louisiana y Florida.

JOHN G. SUTTON *es ingeniero de desagües y se unió al personal de Washington del servicio de Conservación de Tierras en 1939, entrando al servicio del Departamento de Agricultura de 1925.*

El desagüe de tierras de turba y de desechos vegetales

John C. Stephens.

LAS TIERRAS DE TURBA y de desechos vegetales tienen propiedades biológicas, físicas y químicas exclusivas, y en ellas no son apropiadas las prácticas comunes de desagüe y manejo que se emplean en tierras minerales.

Biológicamente, las tierras orgánicas mantienen gran número de microorganismos, y principalmente bacterias que son responsables de gran parte de la formación y alteración de la turba. La acción de los microorganismos anaerobios produce las tierras orgánicas y los organismos aerobios son grandemente responsables de su descomposición.

Las tierras son de color oscuro, de peso ligero, y tienen una contextura absorbente parecida a una esponja. Tienen elevadas propiedades de absorción y radiación, una gran capacidad de calor y una baja conductividad del mismo. Arden a temperaturas relativamente bajas, y tiegran capacidad de amortiguación, que se opone fuertemente a los cambios de reacción ácida. Las turbas tienden a ser ácidas, pero varían de pH 3.5 a 8.0.

Las turbas y las tierras de desechos vegetales cubren aproximadamente 80 millones de acres en los Estados Unidos de Norteamérica, ocurriendo la mayoría de ellas en las regiones frías, templadas y húmedas de Maine, Massachusetts, New York y New Jersey, y en los estados de los Grandes Lagos de Míchigan, Wisconsin, Minnesota, Illinois e Indiana. Minnesota Wisconsin y Míchigan tienen aproximadamente el 75% del total de tierras de turba y de desechos vegetales en nuestro país.

Existen grandes depósitos pantanosos en la región caliente, templada y húmeda que se encuentra dentro de las planicies costeras cenagosas del sudeste de Virginia, North Carolina y Georgia, y a lo largo de las tierras costeras de marismas de Louisiana y Texas. La región subtropical y húmeda de Florida, incluyendo

los Everglades y localidades relacionadas, comprende el 14% del total de los depósitos nacionales, y otros depósitos en el área costera del Pacífico incluyen las turbas del delta de California que se forman cuando el clima es caliente y seco, y los depósitos de los pantanos y valles semiáridos o subhúmedos de Washington y Oregón.

Los Everglades, que cuentan con más de 2 millones de acres, forman la mayor región de turbas y tierras de desechos vegetales que se conoce en el mundo. Otras grandes regiones ocurren en el área del delta de California, a lo largo de las marismas costeras de Louisiana y de Texas y Michigan, Minnesota y Wisconsin. Sin embargo, gran parte de las tierras de turba y desechos vegetales se encuentran en pequeños mantos que cubren de uno a varios cientos de acres y que se encuentran esparcidos en miles de granjas. Esos depósitos son de gran valor en la producción de cosechas, como receptáculos de agua y refugios para la fauna y como fuente de materias orgánicas.

Sin embargo, las tierras de turba y de desechos vegetales varían grandemente, y algunas de ellas tienen escasas posibilidades para las actividades agrícolas ordinarias. A menudo han fallado los esfuerzos hechos para recuperarlas, debido a la pobreza de las tierras, a su lejanía de los mercados y a que están sujetas a heladas. Por otra parte, el manejo adecuado de las tierras buenas y bien situadas ha tenido éxito, y las tierras mejores en la proximididad de los mercados de las ciudades pueden valuarse en mil dólares o más por acre.

Además de la producción de cosechas, se usaron 256,000 toneladas de turba en los Estados Unidos de Norteamérica en 1950, de las cuales el 63% se empleó en mejoramiento de tierras, el 22% en fertilizantes mixtos, el 12% en camadas para aves de corral y establos y el 3% para fines misceláneos. Las tierras orgánicas son también una fuente potencial de combustible, de gas artificial y de substancias químicas orgánicas básicas producidas por la destilación y la carbonización. El valor total de la turba y de las tierras de desechos vegetales en los Estados Unidos de Norteamérica se ha calculado aproximadamente en 40 billones de dólares.

LAS TURBAS Y LAS TIERRAS de desechos vegetales se han desarrollado de la vegetación de los lodazales, marismas y selvas pantanosas, o de los musgos esfagnales, por la acción de los microorganismos y principalmente las bacterias.

Los técnicos de tierras definen la turba como una tierra que tiene menos del 50% de materia mineral a base de peso seco; los desechos vegetales, como una tierra que contiene de 50 a 80% de material mineral, y las tierras minerales como las que dejan más del 80% en cenizas al quemarse. Las tierras de turba sólo se descomponen en parte y conservan una textura fibrosa o granulada. Las de desechos vegetales se descomponen totalmente y son de contextura fina, uniforme, amorfa y negra. Los tipos principales de turba son la sedimentaria, la fibrosa, la leñosa y la esfagnal. Los tres primeros se forman en cuencas o en tierras con malos desagües, y el tipo de musgos esfagnales puede desarrollarse en tierras más altas.

Las turbas sedimentarias se derivan primordialmente de las plantas suculentas sumergidas de agua libre, tales como náyades y hierbas de estanque que contienen una proporción relativamente pequeña de materias celulosas o semicelulosas. Estas pueden mezclarse con algas o microorganismos muertos, con el polen y las hojas de las plantas más desarrolladas, y con sedimentos minerales arrastrados por los vientos o las aguas.

Las turbas fibrosas se componen de los desechos de cañas, juncos y plantas de pantano semejantes que crecen en aguas poco profundas a lo largo de las orillas de los pantanos. Las turbas fibrosas contienen una proporción relativamente alta de celulosa. La capacidad de retención de agua de las turbas fibrosas es muy alta y su transmisión de ella es satisfactoria. Son menos ácidas que las turbas de musgo y tienen una contextura más apropiada para la labranza que las turbas sedimentarias. Contienen de 2.0 a 3.5% de ni-

trógeno y muchas de ellas son apropiadas para fines agrícolas.

Las turbas leñosas se forman de la vegetación clímax de los depósitos pantanosos. Se desarrollan de los residuos de árboles y arbustos que ocupan el suelo boscoso de los pantanos. Ordinariamente llegan menores cantidades de calcio y de otros minerales a esas turbas, y, por lo tanto, normalmente son más ácidas que las fibrosas. Las turbas leñosas tienen menor capacidad de retención de agua que las fibrosas, y cuando se desaguan conservan una estructura suelta, granulada y de bloques, a través de la cual se mueve fácilmente el agua. Esta tierra tiene excelentes condiciones de labranza y ordinariamente se clasifica como tipo intermedio entre las turbas fibrosas y sedimentarias como tierra de campo.

Los estudios del clima antiguo indican que los último glaciares continentales alcanzaron su desarrollo máximo hace aproximadamente 11,000 años, y retrocedieron lentamente durante 5,000 ó 6,000 años hasta llegar a su posición actual. Por lo tanto, podemos suponer que los depósitos de turba que quedaron en las depresiones ocasionadas por el último retroceso glacial tienen menos de 10,000 años de edad, y la de algunos de los depósitos del Norte varía aproximadamente entre 2,500 y 8,000 años, siendo probable que las turbas de los Everglades de Florida se hayan desarrollado durante los últimos 5,000 años.

En Maine, Washington, los estados de los Grandes Lagos y Canadá se formaron turbas de musgo. El tiempo frío y húmedo favorece el desarrollo de esos depósitos y ocurren también extensas áreas en el norte de Europa. Esta turba se forma principalmente de los musgos esfagnales y de la vegetación semejante a ellos, que depende de las lluvias, rocíos y nieblas para la obtención de humedad.

Las turbas esfagnales pueden retener hasta 15 ó 16 veces su peso de agua y absorben la humedad hasta el grado de que elevan la meseta de agua sobre el nivel de las tierras circundantes. Se desarrollan en capas y a veces alcanzan un grueso de 30 pies. Ordinariamente presentan un perfil superficial en forma de cúpula. Las tierras que se forman en estas condiciones se llaman comúnmente turbas de páramos altos. Son extremadamente ácidas, con pH de 3.5 a 4, y no se descomponen fácilmente.

Este tipo de turbas no es medio adecuado para el crecimiento de los organismos que causan la descomposición y su contenido de nitrógeno es bajo. Aun cuando se desagüen, no son tierras adecuadas para el crecimiento de plantas superiores, a menos que se corrija su acidez mediante fuertes aplicaciones de cal y que se añada un fertilizante completo que incluya nitrógeno y los microelementos. Aun así, pueden necesitarse varios años para el desarrollo de una población de organismos de tierra apropiada para el cultivo de cosechas. Se usan principalmente para el mejoramiento de otras tierras, para empacar plantas y flores, y como un colchón absorbente para establos y gallineros y otros usos relacionados en los que su elevada capacidad de retención de agua las hace muy valiosas.

ANTES DE QUE SE INICIE su recuperación, debe considerarse una característica única de las tierras orgánicas. Las tierras de turba y de desechos vegetales están sujetas a hundimientos cuando se desaguan, o sea que pierden su altura superficial. Los hundimientos se deben al encogimiento producido por la sequía, a la pérdida de la fuerza de flotación del agua del suelo, a la consolidación, a la lenta oxidación e incineración, y a la erosión causada por el viento.

El promedio de la proporción de hundimiento en los Everglades ha sido aproximadamente de 1.25 pulgadas al año, y 50 años de desagües han dado por resultado la pérdida de un 40% en volumen de las mejores tierras agrícolas. Se dice que las tierras orgánicas del área del delta del Sacramento y San Joaquín, en California, se han hundido en una proporción aproximada de 3 pulgadas al año.

En tierras orgánicas vírgenes, la pérdida de altura es más rápida inmediatamente después de su desagüe y cultivo. Esa pérdida varía con la firmeza de la turba y su estructura. Las turbas sedimen-

tarias pueden perder hasta las tres cuartas partes de su volumen desaguado muy rápidamente, y las fibrosas y leñosas generalmente pierden mucho menos. Antes del cultivo, la mayoría de las turbas fibrosas tienen prácticamente la misma densidad de alto a bajo; pero en 5 años de labranza o más aumenta la densidad de las 18 pulgadas superficiales aproximadamente al doble que en las turbas inferiores. La capa cultivada se vuelve una masa amorfa, su color se oscurece, disminuye la proporción de filtración y la turba se transforma en una especie de abono. El aumento de densidad trae como consecuencia la pérdida de volumen.

A medida que continúa el desagüe, la proporción de hundimiento disminuye, volviéndose lenta y constante. La pérdida continúa mientras se desagua la tierra, y se debe a la lenta oxidación causada por la acción de los microorganismos aerobios al convertir la materia orgánica en bióxido de carbono y otros productos gaseosos. La proporción en que se consume la tierra depende primordialmente de la profundidad de la meseta de agua en cada tipo de tierra.

S. A. Waksman y sus coasociados de la Universidad de Rutgers, descubrieron que la acción de las bacterias destructoras era mayor en las turbas desaguadas de los páramos bajos y menor en las turbas extremadamente ácidas de los páramos altos. Sin embargo, si las turbas ácidas se trataban con cal, se abonaban y cultivaban, las micropoblaciones aumentaban aproximadamente al mismo número que en las turbas de páramos bajos con un desagüe semejante. Empleando muestras de turbas de páramos bajos, los investigadores determinaron que el contenido de humedad regulaba la velocidad de descomposición. Un contenido de humedad de 50 a 80% del peso húmedo total de la turba dio las proporciones máximas de descomposición, y arriba y abajo de esos porcentajes, la proporción disminuía rápidamente. Más o menos un 20% del peso seco de la muestra original de turba se descompuso en 19 meses hasta llegar a un contenido aproximado de humedad de 70%, y gran parte de ese porcentaje se perdió en el aire en forma de bióxido de carbono. Los organismos sólo quedaron activos cuando las temperaturas de la tierra fueron superiores a 40° F.

Se establecieron parcelas de turba y de tierras de desechos vegetales en la Estación Experimental de los Everglades, de la Universidad de Florida, cerca de Belle Glade, así como en la Estación Experimental de Cosechas de Abono, de la Universidad de Purdue, en Walkerton, Indiana.

Se descubrió que el hundimiento dependía primordialmente de la profundidad de la meseta de agua, pero que la proporción en Indiana era un poco menor de la mitad que en Florida. Para las profundidades promedias de las mesetas de agua de 12, 24 y 36 pulgadas, la proporción anual de hundimiento correspondiente fue aproximadamente de 0.6, 1.4 y 2.3 pulgadas en los Everglades, y de 0.1, 0.6 y 1.1 pulgadas en Indiana. Las parcelas se encontraban en tierras que ya habían sufrido un engocimiento inicial. En los experimentos de Florida se conservó durante todo el año la meseta de agua prescrita. En los experimentos de Indiana sólo se mantuvo durante el año de cosechas de mayo a septiembre.

Las placas de referencia colocadas bajo la meseta de agua permanente en la Estación de los Everglades, mostraron que todo el engocimiento de la tierra ocurría sobre la meseta. Los estudios de volumen y de cenizas indicaron que el descenso de la superficie en esas parcelas podía atribuirse en muy pequeña proporción a la consolidación, y se debía principalmente a la oxidación.

En las tierras desaguadas que no se han cultivado ni pastado se produce una contextura abierta y esponjosa en la zona desaguada, que permite la libre ventilación. Cuando más tarde se aran esas tierras, la pérdida de masa ha sido mayor que la que ocurre en tierras adyacentes bajo los mismos niveles de agua. Se supone que la consolidación causada por el cultivo impide la ventilación y retrasa la oxidación, y, por lo tanto, las tierras desaguadas de este tipo deben utilizarse inmediatamente.

Las tierras orgánicas se incineran cuan-

do se secan. La falta de cuidado y de control de los incendios destruye grandes áreas cada año. Un fuego de turba es difícil de extinguir y arderá hasta que la tierra se sature con las lluvias o por medio de inundaciones. El incendio disminuye la profundidad de la tierra y puede dejar una superficie desigual y llena de hondonadas que la hace poco aproda para el cultivo.

Los vientos que remueven la tierra y dañan las plantas tiernas son un problema en las tierras orgánicas de cultivos limpios, especialmente después de ellos cuando la superficie está seca y polvorienta. Pueden disminuirse las pérdidas causadas por el viento manteniendo una humedad adecuada en la tierra y usando un rodillo corrugado pesado que deje una superficie acanalada. En algunas áreas de tierras de desechos vegetales se usan cortinas de protección contra el viento para desviar las corrientes de aire y disminuir el movimiento de la tierra.

El método más práctico que se conoce hasta ahora para disminuir las pérdidas en las tierras de turba y de desechos vegetales, consiste en el desagüe controlado que mantiene el nivel de agua tan alto como es posible y lo permiten los requerimientos de campo antes del mismo.

El primer paso consiste en determinar si la calidad de la tierra es apropiada para las cosechas que se proyectan. Las turbas ácidas son menos apropiadas para las cosechas que se cultivan en musgo que las que tienen elevado contenido de cal. Ciertas cosechas especiales, como los arándanos, pueden cultivarse en turbas ácidas y algunas tierras pueden volverse productivas añadiéndoles cal, aunque el complejo coloidal de la turba es naturalmente ácido y se necesita mucha más cal para elevar el pH de una turba que el de una tierra mineral. Muchas pérdidas de cosechas se deben a los intentos de desarrollar las turbas ácidas para cosechas que no son adecuadas, y una sencilla prueba de acidez podría evitar esos intentos poco prudentes.

Generalmente las turbas fibrosas y leñosas son mejores para fines agrícolas que las sedimentarias y de musgo. Las tierras de desechos vegetales contienen mezclas de minerales que probablemente suministran calcio, fosfato y los microelementos necesarios para el crecimiento de las plantas, y tienden a ser más fértiles que las turbas.

La eficacia y costo de las medidas para controlar el agua superficial y del suelo pueden determinarse, en gran parte, por la profundidad y tipo de las turbas o tierras de desechos vegetales y la clase de rocas o subsuelos que haya debajo de ellas. Si esos materiales consisten de roca dura o imposible de cultivarse, la profundidad de la tierra orgánica debe ser por lo menos de 3 a 5 pies para que se justifique el desagüe debido a los hundimientos eventuales.

Las tierras orgánicas suaves, tales como las turbas sedimentarias, tendrán una pérdida incipiente por encogimiento mayor que las turbas fibrosas o leñosas más firmes. En las turbas vírgenes que se destinan a cosechas de cultivo, es más conveniente una profundidad mínima de 5 pies. Las turbas firmes que ya han sufrido su encogimiento inicial y las tierras destinadas a usarse como pastos permanentes, deben tener por lo menos 3 pies de profundidad para que se garantice su desarrollo.

Si la turba o tierra de desechos vegetales se encuentra sobre tierra arable, la situación es muy diferente y entonces puede recomendarse el cultivo hasta de las ciénagas más superficiales. Las profundidades mínimas de las tierras orgánicas pueden ser las comunes de arado si el subsuelo es rico en cal, como ocurre en las arenas con desechos de conchas marinas, lo que se considera muy deseable.

Si un subestrato permeable cercano a la superficie es capaz de transportar un flujo de agua considerable, los diques y las zanjas son ineficaces para detener el influjo de las tierras exteriores y hará muy difícil el mantener diferentes niveles de agua en los mismos campos o en los adyacentes. Sin embargo, en las tierras moderadamente profundas y en las superficiales en las que las zanjas de campo penetran al estrato permeable y los niveles periféricos de agua no son demasiado altos, el desagüe subsuperficial

será bueno y puede aumentarse el espaciamiento de los desagües de campo, ya sea para desagüe o para subriegos.

Si las capas permeables actúan como acuíferos artesianos para llevar agua de fuera bajo presión a las parcelas en desarrollo, pueden necesitarse métodos especiales de desagüe que incluyan pozos de alivio.

Si el subsuelo es de material impermeable, tal como sedimento plástico o arcilla, habrá una filtración relativamente escasa y se requerirá un espaciamiento más estrecho de los desagües de campo.

En los proyectos de desagüe que incluyen la construcción de caminos y de cimentaciones de estructuras para el control del agua, su costo dependerá en gran parte de la adaptabilidad de los subestratos.

Además de la naturaleza física y química inherente a la tierra y de las características y profundidad del subestrato, la localización, topografía y suministro de agua influencian también el valor del depósito orgánico. Este debe localizarse en la proximidad de los caminos y mercados ya existentes, a fin de que los costos de transportación no sean excesivos, y debe situarse de manera que la salida del desagüe, ya sea por medio de bombas o por gravedad, pueda hacerse a un costo razonable. La parcela debe ser lo suficientemente plana para que pueda instalarse económicamente un sistema de controles de los niveles de agua. Es muy conveniente una fuente de agua de riego para conservar la debida humedad de la tierra.

Todos estos factores deben tomarse en cuenta en la investigación preliminar para cerciorarse de que habrá una relación favorable de costos a beneficios antes de hacer planes detallados para el desagüe. Los mismos principios se aplican a la evaluación de las relaciones de costos a beneficios para el desagüe de tierras orgánicas que para el de tierras minerales. Sin embargo debe tenerse en cuenta que las tierras orgánicas tienen una vida limitada, que su productividad varía en mayor proporción con el tipo de tierra y con las cosechas que se cultivan, y que los rendimientos de las cosechas especializadas fluctúan grandemente de acuerdo con las condiciones de los mercados.

Si las investigaciones preliminares indican que es factible el control adecuado del agua, que la tierra es apropiada para el uso a que se la destina, que la tierra ya mejorada puede usarse con ventajas inmediatas, que la empresa tendrá una relación elevada de costos a beneficios y que puede financiarse debidamente, el encargado del proyecto puede desear obtener un plan detallado de recuperación.

La extensión y costo de ese plan variará con la extensión y complejidad del proyecto. En pequeñas áreas, la conveniencia del desarrollo puede depender no tanto de la tierra misma, sino de la experiencia de los agricultores en el manejo de tierras orgánicas, y de si las cosechas apropiadas para la tierra pueden incluirse dentro de los sistemas de labranza.

En los grandes proyectos, la planeación debe hacerse por ingenieros experimentados en el desagüe de tierras de turba y de desechos vegetales. Dentro de la extensión de la investigación podrían incluirse el desagüe e historia agrícola, las facilidades de mercado y estadísticas de ingresos, los requerimientos de las cosechas y de la vegetación, los registros a largo plazo de lluvias, evaporación y temperatura, las condiciones geológicas y de agua del suelo, las inspecciones topográficas, las inspecciones del suelo y las condiciones físicas de la tierra, las recomendaciones para el control de las aguas, incluyendo los requerimientos de desagües y de riegos, con proporciones de diseño y planos de obras de control, los presupuestos de construcción y los costos, las recomendaciones de mantenimiento y los costos, el sumario total de costos y la relación de costos a beneficios, los métodos de financiación y el prorrateo anual de los costos contra los beneficios.

Una vez que se ha decidido la empresa de recuperación de un depósito cenagoso, el primer requisito consiste en la remoción del exceso de agua. La mejor época para iniciar los desagües es or-

dinariamente la estación más seca. Primeramente debe bloquearse el flujo procedente de las tierras adyacentes y removerse el agua superficial, a fin de secar suficientemente la tierra para limpiarla e instalar el sistema de desagüe. En las tierras sujetas a inundaciones (debido a la ausencia de suficiente relieve superficial para proporcionar un desagüe adecuado), o en tierras sujetas a frecuentes desbordamientos de los lagos o corrientes cercanos, deben construirse diques de protección alrededor de su área y proporcionarse el bombeo necesario para remover el agua.

Al construir los diques es más conveniente usar tierras minerales y no turbas, siempre que esto sea posible. A veces puede añadirse materia orgánica a las tierras arenosas para disminuir la filtración a través de los diques, y esto puede también aumentar la fertilidad y ayudar al crecimiento de una cobertura de vegetación para controlar la erosión. A menudo pueden emplearse con ventaja en la construcción de diques las tierras de desechos vegetales que tienen un alto contenido de minerales y que son estructuralmente estables.

Frecuentemente, sin embargo, la turba será el único material que pueda usarse, y de hecho en los Everglades se usan a menudo diques de turba para proteger las granjas. El tamaño de los diques depende de las diferencias en los niveles de agua dentro y fuera de las parcelas que vayan a protegerse.

Un dique construido con tierras orgánicas requiere un terraplén mayor que otro que se construya con tierras minerales más pesadas. Un dique firme de turba, bien consolidado y cubierto de tierra vegetal, con una altura final de 5 a 6 pies, un ancho en su parte inferior de 15 a 20 pies y con declives laterales no menores de 1 a 1, será suficiente, generalmente, para resistir las avenidas de agua en la parte exterior del mismo hasta una profundidad de 3 pies sobre la superficie de la tierra, si el nivel de campo del agua dentro de ella se reduce aproximadamente 2 pies bajo la superficie. Si el dique queda sujeto a oleajes, es aconsejable el empleo de un grueso colchón de tierra vegetal sobre el mismo y un plantío cercano de sauces u otras plantas semejantes.

Los diques construidos con turba fibrosa perderán hasta una tercera parte de su volumen original por hundimiento durante el primer año, y las turbas sedimentarias se encogen mucho más. Deben permitirse también tolerancias para el encogimiento lento que ocurre después del primer año debido a la oxidación. Es necesario dejar tierra suficiente en la meseta, de donde pueda excavarse y usarse periódicamente para reconstruir el dique y conservarlo en su pendiente apropiada.

Antes de que se construya el dique es conveniente remover la vegetación en su base para asegurar una buena liga entre los materiales. Además, para retrasar la filtración en el bordo, es conveniente excavar una trinchera del ancho de la tolva de una draga de cable y de 4 a 5 pies de profundidad, rellenándola con tierra orgánica bien mezclada. Esa trinchera rellenada ayuda a evitar la filtración cuando se seca la tierra y ocurren grietas en el suelo debidas al encogimiento.

Las grietas de encogimiento pueden extenderse a través del dique mismo. Una solución consiste en conformar, apisonar y cubrir con un colchón de tierra vegetal un dique recién construido, tan pronto como se haya desaguado el exceso de agua. Si la tierra es una turba sedimentaria o de desechos vegetales que contenga marga o cualquiera otra mezcla coloidal que haga que se desplome el material, tendrá que excavarse la tierra y dejar que se desagüe antes de que pueda conformarse y terminarse el dique. El colchón vegetal reduce el mantenimiento, porque retrasa los hundimientos e impide la erosión producida por el viento y el crecimiento de malezas y hierbas.

Comúnmente se emplean dragas de cable o de tolva para construir los diques. Generalmente debe tomarse el material de fuera del campo y dejarse una ancha meseta de tierra sin alterar entre el dique y el canal de préstamo. En esas circunstancias habrá menos probabilidad de que la presión del agua fuera del área protegida pueda causar fallas estructurales,

y el canal exterior servirá para desviar el agua estancada y permitir que se escape más aprisa, actuando en la misma forma que una barrera contra incendio.

Debe tenerse en cuenta la necesidad de construir caminos de granja cuando se proyecte el sistema de diques; pero el empleo de los diques de turba como caminos disminuye su altura y los hace más susceptibles a la erosión causada por el viento. Los diques que tienen cubiertas de roca u otros materiales adecuados, son más estables y pueden servir como caminos.

Si una corriente lenta produce estancamientos cenagosos, a veces puede obtenerse el desagüe superficial enderezando y aumentando el tamaño del canal sin necesidad de diques. Sin embargo, antes de adoptar esta medida deben localizarse las inundaciones de agua estancada causadas por las obstrucciones que se encuentran corriente abajo, debiendo recordarse que la superficie cenagosa se hundirá al desaguarla.

En sitios donde existen estancamientos cenagosos que se empeoran con la filtración del agua del suelo, los problemas de desagüe son más complejos y debe obtenerse la ayuda de un geólogo de aguas del suelo antes de que se emprendan costosas obras de recuperación. A menudo puede interceptarse la filtración a través del manto de tierra procedente de las tierras altas circunvecinas, desviándola por medio de trincheras de salida antes de que llegue al área de turba o desechos vegetales. Las medidas de control a menudo pueden ser muy costosas si la filtración llega bajo el pantano por conducto de una capa impermeable y sale luego a la superficie a través de un lecho poroso, aunque si la proporción de flujo es moderada, pueden emplearse con éxito los pozos de alivio. En muchos casos, si puede controlarse la filtración, ésta puede ser benéfica durante los periodos de sequía para suministrar agua para riegos.

UNA VEZ QUE LA TIERRA HA QUEDADO protegida contra el agua exterior, el siguiente paso consiste en proporcionar desagües de campo. La tierra muy húmeda y esponjosa puede requerir varias estaciones progresivas de desagüe antes de que puedan instalarse todas las estructuras de control de agua.

Primeramente debe excavarse la zanja principal que vaya del pozo u otra entrada, debiendo avanzar ese trabajo corriente arriba dentro de la parcela que va a desaguarse. A partir de la zanja principal deben construirse laterales adecuadas y zanjas de desagüe abiertas para secar la tierra lo suficientemente para proseguir con su limpieza y arado inicial.

La cantidad de mano de obra requerida para dejar la tierra en condiciones de cultivo varía de acuerdo con el crecimiento nativo. Deben removerse primero los árboles y luego puede ser conveniente dejar que se paste el área por varios años para permitir que los tocones y raíces se descompongan a fin de que su remoción sea más fácil.

Si la tierra queda cubierta con hierbas el primer paso consiste en roturarla. Pueden permitirse incendios ligeros si se hacen cuando la tierra está húmeda y no puede dañarse la superficie. La roturación inicial debe ser profunda, haciéndose, si es posible, con un arado de 24 pulgadas. La tierra se apisona luego con un rodillo pesado.

En las turbas vírgenes naturales, la tierra debe pastarse, y si el desagüe es bueno debe abrirse al cultivo con cosechas tales como chícharos, avena, cebada u otras plantas que se siembran espaciadas. Se sugiere nivelar la tierra tanto como sea posible en sus primeras etapas de desarrollo, y comúnmente es una buena práctica el proporcionar desagües profundos durante varios años para mejorar las condiciones físicas de la tierra mediante la ventilación, antes de que se instalen las estructuras permanentes de control de agua.

Las pérdidas mayores por hundimiento ocurrirán inmediatamente después del desagüe y cultivo iniciales. Debe determinarse el diseño hidráulico con relación a la altura superficial calculada. El total de hundimiento inicial que puede esperarse dependerá en gran parte del tipo de turba y de la historia de los desagües antiguos. Puede esperarse que las turbas fir-

mes y fibrosas se hundan de 12 a 24 pulgadas durante los primeros 5 años de labranza, y las turbas sedimentarias flácidas a menudo se hunden hasta las tres cuartas partes de su volumen de desagüe. Se sugiere una tolerancia aproximada del 30% de la profundidad de la turba en los sitios recientemente desaguados, y aproximadamente del 10% en las áreas agrícolas ya desaguadas previamente. La proporción anual de hundimiento después de los primeros 5 años dependerá de la profundidad del desagüe.

El diseño del sistema de desagüe debe tener en cuenta la selección de la proporción adecuada de desbordamiento para la parcela, el diseño más apropiado de los desagües de campo para obtener un buen desagüe de la tierra en toda el área de cosecha y el problema de conservar los niveles de agua a su profundidad correcta para obtener los máximos rendimientos de las cosechas, el control del hundimiento y la protección contra las heladas.

Los requerimientos de desbordamiento en las tierras orgánicas dependen de la frecuencia e intensidad de las lluvias, la capacidad de almacenamiento de la tierra, el valor de las cosechas y la sensibilidad de las plantas a la inmersión.

Las plantas se ahogan cuando el sistema de raíces se sofoca y se impide el intercambio gaseoso. Normalmente el oxígeno se absorbe por las raíces a cambio del bióxido de carbono que se desecha. Las diversas plantas varían grandemente en sus necesidades de oxígeno, pero generalmente la demanda aumenta como reacción a factores tales como luz del sol y temperaturas elevadas que aumentan la actividad fisiológica. Por lo tanto, las cosechas toleran las inundaciones por mayor tiempo después de una tormenta si el clima es frío y nublado que cuando está caliente y asoleado. Algunas raíces de plantas pueden resistir mejor la inmersión cuando el agua del suelo está en movimiento y puede disolver y remover el bióxido de carbono, ayudando a cubrir la demanda de oxígeno.

H. A. Jongedik y sus coasociados, que investigaron los desagües controlados de las cosechas de mercado y de campo cultivadas en tierras de desechos vegetales en la Universidad de Purdue, llegaron a la conclusión de que la proporción adecuada de remoción de agua de las tormentas consistiría en la disminución apropiada del nivel del agua del suelo a una profundidad de 18 pulgadas bajo la superficie dentro de 48 horas. Encontraron también que una vez que el nivel de agua llega a esa profundidad, disminuye considerablemente la necesidad de desagües adicionales.

En la selección del módulo de desagüe o proporción de desbordamiento, generalmente la intensidad y frecuencia de las lluvias son los elementos más importantes.

No se considera practicable instalar sistemas de desagüe de granjas que dispongan del máximo de lluvias, y parece ser una buena práctica de manejo el planear la pérdida de una cosecha cada 5, 10 ó 15 años, dependiendo el intervalo que se escoja del valor de la cosecha que podría ahorrarse, comparado con el aumento de costos para proporcionar desagües adicionales para las tempestades que ocurren con muy poca frecuencia. En las regiones donde las intensas lluvias son muy frecuentes, el sistema de desagüe debe disponerse en tal forma que por lo menos una parte de la granja pueda desaguarse debidamente durante cualquier tormenta, instalando diques y compuertas de control que permitan detener el desbordamiento de otras partes de la granja cuando así se desee. En esa forma pueden salvarse por lo menos las cosechas de una parte de la granja.

La opinión general entre los cultivadores de los Everglades es que en las granjas de cosechas de mercado debe haber facilidades para remover 2 ó 3 pulgadas de agua en 24 horas, y para remover una pulgada en las tierras destinadas al cultivo de caña o a pasturas. En el área de New York se considera que es posible proporcionar capacidades de bombeo de 1 a 1.5 pulgadas para cosechas de gran valor. En Indiana parece que son suficientes de 0.37 a 0.5 de pulgada diarias en tierras de pasturas, 0.75 a 1 pulgada diaria para cosechas de campo, y

posiblemente hasta 2 pulgadas para cosechas de mercado.

En los distritos en que se desconocen los requerimientos locales, una guía fácil para calcular los desagües de las cosechas de mercado consiste en determinar el periodo de frecuencia en que se justifica la protección contra pérdidas de cosechas y planear los medios para disponer de protección contra la lluvia de una tormenta de 2 días en el periodo de frecuencia escogido.

El Informe Técnico núm. 5 del Distrito de Conservación de Miami, titulado *La lluvia de las tormentas en el Este de los Estados Unidos de Norteamérica,* revisado en 1936, contiene los resultados de los estudios de frecuencia de las precipitaciones excesivas en los Estados Unidos de Norteamérica al oriente del meridiano 103, dándose los máximos de lluvias registradas hasta 1932 durante periodos de 1 a 6 días en cada cuadrángulo de 2°. Los mapas isopluviales muestran también la cantidad de lluvia que podría igualarse o excederse en cualquier localidad en periodos de 1 a 6 días, con una frecuencia de una vez en 15, 25, 50 y 100 años.

La Publicación Miscelánea núm. 204, del Departamento de Agricultura, titulada *Datos de intensidad y frecuencia de lluvias,* incluye una serie de 56 mapas de las relaciones de frecuencia e intensidad de las lluvias en todos los Estados Unidos de Norteamérica para periodos desde 5 minutos a un día. Cuando la frecuencia de 2 días no está disponible para el periodo de repetición deseado, se puede obtener una aproximación muy exacta añadiendo 12% a los datos de un día que contiene el boletín.

La alta capacidad de absorción de las tierras orgánicas puede disminuir ligeramente los daños causados por las lluvias excesivas. El almacenamiento de agua del suelo disponible variará con la profundidad de la meseta de agua, el equivalente de humedad y el tiempo transcurrido desde la última lluvia. Sin embargo, en condiciones normales, cuando la meseta de agua tiene un promedio aproximado de 2 pies antes de una tormenta, puede calcularse que una pulgada de agua elevará su nivel aproximadamente 6 pulgadas, o que se necesitarán aproximadamente 4 pulgadas de agua para saturar la tierra.

Para ilustrar el método de calcular el módulo de desagüe, supongamos una granja de cosechas de mercado en los Everglades, en donde la meseta de agua se conserva a una profundidad de 14 pulgadas, no hay influjo de filtración y la cosecha justifica un periodo de frecuencia de protección de 10 años. De los registros de lluvias de la Estación Experimental de los Everglades, se sabe que la proporción de expectación de lluvias de 48 horas para un intervalo de 10 años durante el periodo de cinco meses de noviembre a marzo, que es la estación normal de crecimiento para las legumbres en ese distrito, es de 6.3 pulgadas. Como el nivel de agua debe quedar 18 pulgadas bajo la superficie al final del periodo de 48 horas, hay una profundidad disponible de 6 pulgadas para el almacenamiento del suelo, lo que permite un crédito de 1 pulgada de lluvia, de donde resulta que 6.3 — 1.0 = 5.3 pulgadas en 48 horas, o sea que se requiere un módulo de desagüe de 2.6 pulgadas diarias.

De nuevo supongamos una localidad en los estados de los Grandes Lagos, en donde no hay registros locales de lluvias disponibles para una latitud de 43° y una longitud de 91°, y en donde el valor de las cosechas justifica un periodo de protección de 15 años, permaneciendo los demás factores iguales que en el ejemplo anterior. De las tablas isopluviales del Distrito de Conservación de Miami, la máxima lluvia de 2 días que puede esperarse una vez en 15 años es de 4.4 pulgadas. El módulo de desagüe requerido en 24 horas es de 4.4 — 1.0 = 3.4 pulgadas en 48 horas, o 1.7 pulgadas diarias.

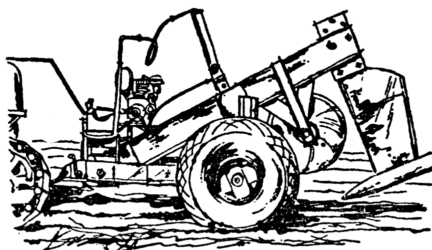
HASTA DONDE PUEDA SER NECESARIO el desagüe de campo depende del uso que se vaya a dar a la tierra, de la profundidad y cualidades internas de desagüe de la tierra orgánica y de la capacidad de transportación de agua del subsuelo. El que se pueda confiar solamente en los desagües de zanjas abiertas o el que se incorpore un sistema de tubería

de desagüe, depende a menudo del valor por acre de las cosechas que puedan cultivarse y del costo relativo y conveniencia de los dos tipos de sistemas de desagüe. En las tierras orgánicas más firmes pueden usarse a menudo con ventaja los desagües de surco profundo en vez de los sistemas de tuberías más costosos, aunque su uso en turbas cenagosas o tierras de desechos vegetales tiene menos éxito.

En áreas donde no hay patrones de desagüe establecidos que proporcionen una guía, el diseño de los desagües de campo es un problema difícil. El espaciamiento adecuado, como en el caso de tierras minerales, dependerá grandemente de la permeabilidad efectiva de la tierra y de los requerimientos de la meseta de agua. Sin embargo, a diferencia de las tierras minerales, los equivalentes de humedad de la tierra o las clasificaciones de permeabilidad de laboratorio son de poca ayuda para escoger el espaciamiento adecuado de los desagües en tierras de turba y de desechos vegetales. Por otra parte, los métodos de campo para determinar la permeabilidad real, tales como los de barrenado o de función de desagüe, pueden ser de gran valor en manos de los técnicos.

Muchas de las tierras orgánicas pueden cultivarse solamente con desagües de zanjas abiertas, sin que pueda darse una regla general para su espaciamiento, que puede variar desde 50 pies en algunas granjas de cosechas de mercado en el distrito de las Grandes Planicies de New Jersey hasta 1,320 pies en los Everglades de Florida. Pueden usarse zanjas ampliamente espaciadas si la tierra tiene buen desagüe interno, y especialmente si está laminada por planos horizontales de ruptura, o si el desagüe vertical es bueno y si bajo la turba hay estratos permeables a profundidades escasas o moderadas que actúen como acuíferos horizontales para llevar el desagüe de la tierra a los laterales y principales; pero las tierras de desechos vegetales con mal desagüe interno y bajo las cuales hay subsuelos impermeables de sedimento, de arcilla o de otras clases, pueden requerir espaciamientos demasiado estrechos para que sean prácticos. De hecho, si el movimiento del agua del suelo es muy lento, el módulo práctico de desagüe aconsejable para una granja puede limitarse al flujo total que pueda filtrarse en los desagües de campo durante el periodo crítico de desagüe, en vez de determinarse por la intensidad de las lluvias.

Los desagües de surco profundo son un valioso complemento de los desagües



de zanjas abiertas en los sitios donde pueden usarse, y ayudan grandemente a igualar los niveles de agua entre las zanjas, tanto para desagüe como para subriegos. Este sistema puede ser más eficaz en turbas fibrosas que en algunas de las turbas sedimentarias o tierras de desechos vegetales plásticas y blandas. Se forman moviendo un cilindro de 6 pulgadas de diámetro con un extremo cónico a través de la tierra para hacer una perforación aproximada de 4.5 pulgadas de diámetro. Los agujeros resultantes deben tener una profundidad mínima de 30 pulgadas para la superficie, para evitar que las perforaciones se obstruyan por consolidación durante las operaciones normales de labranza.

Los surcos profundos quedan mejor establecidos cuando la meseta de agua queda bajo su profundidad recomendada. Los que operan bajo la meseta de agua causan un vacío parcial que tiende a cerrar las perforaciones detrás del cilindro que las forma. Ese cilindro produce una presión de casi 9 pulgadas de mercurio, o sea el equivalente aproximado de 11 pies de agua cuando funciona a 6 pulgadas bajo la meseta de agua a la velocidad normal de un tractor. El cilindro debe tener un respiradero para evitar esa contrapresión. Las máquinas para abrir surcos profundos no deben funcionar a altas velocidades, y mientras sea más lenta su

velocidad de funcionamiento será menor la tendencia a que se cierren los agujeros.

Los surcos profundos se espacían a una distancia de 12 a 15 pulgadas uno de otro. En 1954 el costo de ellos era de 1 a 2 dólares por acre. Debidamente construidos en tierras adecuadas deben dar servicio eficaz durante 5 a 8 años, y cuando dejan de funcionar satisfactoriamente pueden abrirse nuevas líneas entre los agujeros antiguos.

EN DONDE LOS VALORES POR ACRE de las cosechas son altos y las condiciones de tierra son adecuadas, pueden ser convenientes los sistemas de tubos subterráneos. Esos desagües evitan el dividir los campos con zanjas, ahorran superficie de tierra, eliminan los problemas de mantenimiento de las zanjas abiertas, así como los causados por las hierbas o cubiertas vegetales a lo largo de los bordos de las zanjas.

Se aplican las mismas reglas generales para la instalación de sistemas de tuberías en tierras orgánicas que en tierras minerales, pero deben tenerse en cuenta ciertas diferencias importantes. El espaciamiento adecuado, como en las zanjas abiertas, depende grandemente de la permeabilidad efectiva de la tierra y de los requerimientos de la meseta de agua. A menudo pueden determinarse los mejores intervalos de acuerdo con el espaciamiento usado en las granjas cercanas o basándose en observaciones de las zanjas abiertas. Puede probarse primero un espaciamiento considerable, añadiéndose después líneas adicionales, si son necesarias.

Ordinariamente las líneas de tubería se espacían de 50 a 200 pies una de otra. Las turbas de juncos y cañas y las leñosas, generalmente se desaguan mejor con espaciamientos de 100 a 120 pies.

Si se emplean tanto un desagüe controlado com subriegos, puede ser conveniente el espaciamiento más próximo de los desagües para disminuir las ondulaciones de la superficie de agua entre las líneas de tubería. Si la tierra superficial se vuelve densa y apisonada y se retrasa la filtración vertical, o si una extensa superficie se desagua totalmente por medio de tuberías, debe haber suficientes zanjas abiertas para proporcionar desagüe superficial durante las inundaciones rápidas.

El gradiente del sistema de tubería dependerá esencialmente del declive de las tierras. Cuando van a emplearse subriegos invirtiendo el flujo del sistema, el gradiente de la tubería debe ser tan bajo como lo permitan las necesidades de desagüe. El gradiente mínimo que se recomienda es de una pulgada en 100 pies.

Se emplean fórmulas convencionales de flujo para determinar los tamaños de la tubería, pero los tamaños normales de tubo menores de 5 ó 6 pulgadas deben usarse con precaución en tierras pantanosas, porque los tubos pequeños se hunden y pierden fácilmente su alineamiento obstruyendo las tuberías. En las tierras de turba y desechos vegetales, generalmente son preferibles los tramos largos de tubo, ya que es más probable que permanezcan en su sitio. Si es necesario colocar tubos en tierras cenagosas pueden ser más convenientes los tipos de tubos largos y perforados.

Debe demorarse la instalación de tuberías en las tierras frescas hasta que varios años de desagües con zanjas abiertas y de cultivos hayan producido las fuertes pérdidas iniciales que causa el encogimiento. Entonces deben instalarse las tuberías tan profundamente como sea posible, a fin de compensar el lento hundimiento de la superficie causado por la oxidación de la tierra orgánica en la zona de desagüe. Se recomienda una profundidad mínima de 4 pies; pero son mejores 6 pies en donde lo permitan el subsuelo y las condiciones de salida.

P. W. Manson y D. G. Miller, de la Estación Agrícola Experimental de Minnesota, han encontrado que la acción corrosiva en el concreto varía con la acidez de la turba y la calidad del concreto. Las mezclas ricas con alta resistencia y baja permeabilidad dieron la mayor resistencia, y todos los tubos de desagüe instalados en turbas deben ser por lo menos de la calidad prescrita para tubo de desagüe de calidad extra en las especificaciones normales de la Sociedad Norteamericana para la Prueba de Materiales que se designa como C4-50T. El concreto en la tubería de esa clasificación tiene

una fuerza de compresión de 4,000 libras por pulgada cuadrada, o mayor, y una absorción de 8%, o menos. Una tierra orgánica con valor de pH de 6.0 puede considerarse como definitivamente ácida. Cuando esa cifra es considerablemente menor de 6.0, el empleo de tubo de concreto se hace dudoso desde un punto de vista económico. Los tubos de barro que llenan las especificaciones de la Sociedad Norteamericana para la Prueba de Materiales no están sujetos a la corrosión ácida, y tanto los tipos vidriados como los sin vidriar son satisfactorios para emplearse en tierras orgánicas, independientemente de su grado de acidez.

Después de que se ha colocado el tubo, debe tenerse especial cuidado para recubrir las líneas de tubería y para rellenar las trincheras, a fin de evitar el estancamiento de la tierra orgánica. Cuando se remueve la tierra se retrasa grandemente el movimiento del agua.

B. S. Clayton, quien antes fue miembro de la Estación Experimental de los Everglades, encontró que en las muestras verticales de turba de los Everglades, la profundidad normal del agua que pasaba a través de la capa superior de 18 pulgadas que había sido removida por la labranza, era de 0.30 de pie diario; la que pasaba por la capa de tierra de 18 a 36 pulgadas de profundidad, era de 27.3 pies, y la que pasaba a través de una muestra horizontal, era de 0.25 de pie diario. Tanto la segunda muestra vertical como la horizontal se tomaron de turba café fibrosa que no había sido removida, y la gran diferencia en las proporciones de filtración a través de ella se debieron a la estructura de los residuos parcialmente descompuestos de hierba de sierra, que proporcionaban pequeñas aberturas a lo largo de las líneaes verticales. La proporción de filtración en la capa superior de tierra no fue mucho mayor que la de la muestra horizontal, debido a los cambios estructurales producidos por la labranza. Así, si la turba excavada, especialmente la capa superficial densa y plástica, se vuelve a colocar descuidadamente alrededor de la tubería, la barrera impermeable al agua del suelo que se forma disminuirá la filtración en las uniones de la misma.

Las uniones de la tubería deben cubrirse con varias pulgadas de material poroso, tal como grava, cenizas o tierra superficial porosa de origen mineral. Pueden usarse paja, viruta de madera, desechos vegetales u otros materiales orgánicos cuando se encuentren bajo la meseta de agua, a fin de que no queden sujetos a descomposición. Cuando no puede reemplazarse la turba excavada sin causar estancamientos, la trinchera debe rellenarse con material permeable hasta 12 ó 18 pulgadas de la superficie antes de reemplazar las tierras orgánicas. Si el material permeable es escaso, pueden instalarse desagües verticales de alivio a intervalos a lo largo de la línea de tubería, que llevan el agua superficial hacia abajo hasta la profundidad del material de recubrimiento.

A veces los desagües de tubo instalados en tierras orgánicas no trabajan debidamente durante varios años. A medida que la tierra que se encuentra sobre ellos queda bien ventilada, las raíces de las plantas penetran a esa zona, y conforme crecen y mueren, las raíces muertas tienden a dejar conductos abiertos. Los gusanos y otros organismos comienzan a trabajar en la tierra viva y mejoran su contextura. A veces se producen hendiduras de encogimiento cuando la turba se seca, que nunca se cierran completamente. Durante ese periodo de tiempo se mejora la permeabilidad de la tierra alrededor de los desagües, haciendo que las tuberías den un servicio eficaz en lo sucesivo.

El desagüe es indispensable para el cultivo de las tierras de turba y de desechos vegetales; pero un desagüe excesivo puede causar un encogimiento y hundimiento perjudiciales y hacer que las tierras se vuelvan poco confiables para la producción de cosechas.

Por lo tanto, cada granja necesita un sistema completo de control de agua para proporcionar desagüe en tiempo húmedo y riegos en tiempo seco. El control de los niveles de agua del suelo es conveniente a fin de obtener la máxima producción de cosechas, para la conservación de la

tierra y para protegerla contra las heladas.

La experiencia obtenida en todo el país y los estudios llevados a cabo sobre desagües demuestran que las mejores mesetas de agua para la producción de cosechas en tierras de turba y desechos vegetales varían con los hábitos de enraizamiento, madurez y variedad de las cosechas, las características capilares y de retención de agua de la tierra y la distribución de las lluvias durante la estación de crecimiento.

La capacidad de retención de agua de las tierras orgánicas disminuye generalmente a medida que aumenta su densidad total. Por ejemplo, cuando se encuentran a proximidad de su capacidad de campo, las tierras de desechos vegetales de Okeechobee, que tienen una densidad total de 0.42, contienen 30% por volumen de agua. Las tierras de desechos vegetales de turba de Okeechobee, con densidad de 0.20, contienen 66% y las turbas de los Everglades, que tienen una densidad de 0.15, contienen 75%. Ordinariamente, mientras más compacta y densa es la tierra, mayor será la altura de la columna capilar sobre la meseta de agua, y la transmisión de agua hacia arriba será más lenta.

Las tierras orgánicas son muy exigentes en sus requerimientos de un suministro adecuado de humedad para la producción de cosechas. Los niveles máximos que pueden mantenerse sin causar efectos perjudiciales quedan ligeramente abajo de la zona de denso enraizamiento.

P. M. Harmer, del Colegio Agrícola de Míchigan, descubrió que la mayoría de las cosechas de granja en Míchigan daban mejores rendimientos en tierras de desechos vegetales cuando el nivel de agua se conservaba entre 30 y 36 pulgadas durante el verano, aunque puede mantenerse un poco más alto durante las primeras etapas de crecimiento. Hizo hincapié en la importancia de mantener una meseta de agua bastante uniforme durante la mayor parte de la estación de crecimiento, para impedir el desarrollo de una zona profunda de enraizamiento durante los periodos de bajo nivel, que podría dañarse si éste subiera. Entre las cosechas que preferían niveles de agua menores de 30 pulgadas se encontraban el heno, coliflor, apio, pepino, lechuga, perejil, pimientos, rábanos, espinacas, calabaza, col suiza, betabeles, tomates, nabos, fresas, arándanos y moras. Las cosechas que requerían niveles de agua mayores de 36 pulgadas, eran: la cebada, avena, remolacha de pastos, centeno y trigo.

A. R. Albert y O. R. Zeasman, de la Universidad de Wisconsin, manifiestan que casi todas las cosechas especiales de mercado necesitan una zona de enraizamiento de 24 pulgadas, o más, de tierra desaguada para que den buenos rendimientos y alta calidad, y que no ocurre disminución apreciable en los rendimientos de esas cosechas con profundidades de desagüe hasta de 36 pulgadas, sugiriéndose una profundidad de 48 pulgadas para el maíz.

Las investigaciones efectuadas en la Estación Agrícola Experimental de Minnesota demuestran que no hay diferencia marcada entre la profundidad óptima normal de desagüe para las cosechas de campo y para las cosechas de mercado, según H. B. Roe. Se recomienda una profundidad normal de desagüe de 36 a 40 pulgadas para la labranza general, y se sugiere una profundidad de 24 pulgadas para los pantanos que se dedican a cosechas de hierbas.

En la Universidad de Purdue se cultivaron cebollas, zanahorias, maíz dulce, papas y menta en parcelas con profundidades controladas de agua de 15 a 38 pulgadas. No ocurrieron diferencias importantes en el crecimiento de las cosechas en parcelas que tenían una meseta de agua de 26 pulgadas, o más profunda. Las parcelas con una meseta de agua de 15 pulgadas produjeron menos y la calidad de las cosechas fue más pobre que las cultivadas en mesetas de agua más profundas, habiéndose sugerido una profundidad satisfactoria mínima de 20 pulgadas para las cosechas mencionadas.

Los estudios efectuados en la Estación Experimental de los Everglades indicaron que para la mayoría de las cosechas de mercado era mejor una meseta de agua de 18 a 24 pulgadas, habiendo dado el apio y las cebollas mejores rendimientos

al nivel de 18 pulgadas. Las judías, coliflor y papas dieron mejores rendimientos a 24 pulgadas, y el maíz y la lechuga necesitaron niveles más profundos hasta de 30 pulgadas. Las hierbas de pasturas dieron buenos productos a niveles de agua de 18 pulgadas; pero no sufrieron efectos perjudiciales hasta 36 pulgadas, habiéndose encontrado que la tolerancia de la caña de azúcar fluctuaba de acuerdo con la variedad.

Basándonos en esas investigaciones podemos suponer que una meseta de agua de 24 a 36 pulgadas es conveniente para la mayoría de las cosechas de campo y de mercado, pero que la menta, el apio, las cañas y las hierbas de pasturas se producirán mejor en mesetas de agua menos profundas, aproximadamente a 18 pulgadas. Los granos y el maíz pueden necesitar niveles de agua hasta de 40 pulgadas para obtener los mejores resultados, y en regiones secas esos niveles deben ser mayores. En regiones que cuentan con lluvias bien distribuidas durante la estación de crecimiento pueden ser ligeramente menores.

Como una meseta de agua con una profundidad aproximada de 36 pulgadas necesita de 1 a 2 pulgadas adicionales de lluvia para saturar las tierras que una que tiene otra profundidad aproximada de 24 pulgadas, muchos agricultores prefieren mantener bajas las mesetas de agua para almacenamiento, más bien como medida de seguridad que para proporcionar una capacidad adicional de desbordamiento. Sin embargo, una meseta de agua que se mantenga a un nivel más elevado que 24 pulgadas, disminuirá más las pérdidas por oxidación que otra que se mantenga a un nivel inferior de 36 pulgadas, hasta el grado de que la vida productiva de la tierra aumentará en un promedio de 50 a 80%. La proporción exacta de aumento depende de las condiciones climatológicas y del tipo de tierra. Por lo tanto, a la larga será más económico proporcionar facilidades adecuadas de desbordamiento en vez de depender de la capacidad de almacenamiento de la tierra.

Como regla general, mientras más alto pueda mantenerse el nivel de agua sin riesgo de causar daños a las raíces y mientras más constantemente pueda mantenerse a la misma profundidad después de la germinación de las plantas y del desarrollo inicial de las raíces, serán mejores los rendimientos de las cosechas. Además, la forma más práctica de mantener al mínimo las pérdidas de las tierras de turba y de desechos vegetales, consiste en controlar el desagüe por medio del cual el nivel de agua se mantiene tan alto como lo permitan los requerimientos de las cosechas y de los campos.

Un control de agua adecuado implica que hay un suministro de agua disponible para reponer cualquier deficiencia durante los periodos de sequía. El agua de ese sistema puede venir en parte del agua del suelo del campo y de la filtración. Cuando éstos son insuficientes para conservar la meseta de agua al nivel deseado, debe suministrarse agua de fuera del campo, ya sea por gravedad o bombeándola dentro del sistema. En algunos sitios puede obtenerse de los pozos el agua necesaria, o de estanques de almacenamiento.

El consumo normal de agua de las cosechas por evapotranspiración puede ser de un octavo a un cuarto de pulgada diario, dependiendo primordialmente esa proporción de la energía solar sobre las superficies de las hojas. Esto significa aproximadamente de 3,500 a 7,000 galones de agua diarios consumidos en cada acre, y, por tanto, esa cantidad debe quedar disponible para riegos además de la filtración o de otras pérdidas en el campo.

Tan pronto como se cubran los requerimientos de desagüe debe proporcionarse un sistema de presas o compuertas de control para regular las etapas de agua. Las estructuras deben tener aberturas a vertederos ajustables, a fin de subir o bajar el nivel de agua del sistema de desagüe, de acuerdo con las necesidades diarias, debiendo ser capaces de manejar el flujo de desbordamiento estipulado sin causar restricciones indebidas durante las inundaciones.

La inundación superficial es conveniente para detener el hundimiento de las tierras orgánicas y también para combatir ciertas enfermedades y hierbas dañinas.

Por lo tanto, la estructura debe ser capaz de retener la meseta de agua cerca de la superficie cuando la tierra no se usa. Las presas de control deben espaciarse para mantener una diferencia entre las mesetas de agua que no exceda aproximadamente de un pie, determinándose esa cifra por el declive del campo.

Las presas para controlar los niveles de las zanjas pueden ser de tablones, de pilotes de acero, de mampostería o de concreto. Las alcantarillas de metal u otros tipos con postes verticales, se usan a menudo en sitios en donde es conveniente la construcción de un crucero de caminos combinado con una estructura de control. Las presas de control más sencillas utilizan el sistema de barreras de tablones, que consiste de estribos ranurados con tablones de madera que abarcan los espacios entre los mismos. Los tablones se colocan o remueven individualmente, ya sea con ganchos, a mano o por medio de pequeñas garruchas manuales. Las bombas pequeñas portátiles de tipo de tablero que se ajustan a las aberturas ranuradas son muy útiles para los riegos de campo cuando no hay flujo de gravedad disponible. Pueden usarse las alcantarillas de tubo dotadas de compuertas corredizas, pero los desechos tienden a acumularse en forma perjudicial detrás de cualquier tipo de vertedero de flujo inferior. En los grandes proyectos que requieren estructuras elevadas de control de carga, son preferibles las compuertas radiales, de rodillos o deslizantes.

Los retenes de agua en las líneas de tubería pueden ser de construcción muy sencilla, y consisten de una cuenca de recolección de madera, acero o concreto, con hendiduras verticales en la sección central. Cuando los tablones quedan en posición, el agua detenida sube hasta que llega al nivel de la compuerta y descarga en la tubería inferior. Son todavía más sencillas las placas de fierro galvanizado que pueden deslizarse entre las uniones de los tubos y removerse según se desee. Es preferible el uso de las cuencas de recolección con vertederos de control, ya que necesitan menos atención y proporcionan alivio automático en caso de que se llegue al límite de nivel durante las tormentas repentinas.

Desde un punto de vista práctico es imposible mantener un nivel absolutamente uniforme en todo el campo, porque la superficie de la meseta de agua formará una serie de ondulaciones entre los desagües de campo siempre que haya un movimiento apreciable del agua superficial hacia los desagües o en sentido inverso. Con los desagües, esas ondulaciones formarán depresiones en las zanjas y crestas aproximadamente a mitad de la distancia entre ellas, invirtiéndose esa situación en los riegos subsuperficiales. La forma y gradiente del perfil de la meseta de agua variarán de acuerdo con la permeabilidad efectiva de la tierra, siendo abruptas en tierras escasamente permeables y moderadas en tierras de alta permeabilidad. A medida que disminuye el flujo de agua del suelo bajo la influencia de la gravedad, el declive de la meseta de agua se vuelve más plano.

A fin de observar los niveles reales de agua del suelo en el campo entre los desagües, se sugiere que se excaven pozos de observación en puntos estratégicos del campo, debidamente revestidos, pues son muy útiles para determinar los niveles de agua que se necesitan en las zanjas para el mantenimiento adecuado de los niveles de agua bajo las cosechas.

Ordinariamente la humedad de la tierra se suministra por medio de subriegos, por el sencillo medio de hacer retroceder el agua en las zanjas o tuberías, dejándola que se infiltre lateralmente a través de la tierra. Sin embargo, en tierras en las que el movimiento de agua es muy lento, este método puede no ser factible, siendo entonces más convenientes las aspersiones elevadas. Igualmente, si el suministro de agua es limitado o si la superficie de la tierra es demasiado áspera para los riegos subsuperficiales, son preferibles los rociadores elevados, que se usan también durante la germinación y para el trasplante de cosechas tales como el apio.

A MENUDO SE NECESITAN BOMBAS para el desagüe de tierras de turba y de

desechos vegetales y para los riegos durante los periodos de sequía. Las succiones son generalmente bajas en los distritos de bombeo de las tierras orgánicas, y comúnmente se emplean bombas de baja succión y de gran volumen. El diseño y construcción de las estaciones de bombeo para las tierras de turba y de desechos vegetales sigue los mismos principios establecidos para las plantas de bombeo para otros desagües. Sin embargo, debe considerarse una tolerancia para los hundimientos y las succiones deben ser lo suficientemente bajas para compensar el hundimiento de la superficie durante la vida de la instalación.

Las instalaciones permanentes se hacen con cimentaciones definitivas que se protegen contra la intemperie por los mismos edificios. Los costos de las plantas de bombeo de granja varían generalmente de 150 a 300 dólares por pie cúbico por segundo para la instalación terminada.

Las cosechas cultivadas en tierras orgánicas se dañan con el frío más a menudo que las cosechas semejantes cultivadas en tierras minerales cercanas. Las tierras orgánicas ocurren en depresiones en las que se estanca el aire pesado y frío. Las características termales de las tierras orgánicas difieren considerablemente de las de las tierras minerales. En comparación con éstas, las tierras orgánicas tienen un elevado coeficiente de absorción y de emisión de energía radiante, una elevada capacidad de calor que aumenta con el contenido de humedad y un bajo coeficiente de conductividad de calor que puede aumentarse por la consolidación o por la humedad adicional.

Durante las horas del día las tierras orgánicas oscuras absorben más energía radiante que las tierras minerales más claras, y su alta capacidad de calor requiere mayor cantidad de éste para elevar las temperaturas de la tierra que la que necesitan las tierras minerales; pero esa misma capacidad produce mayor almacenamiento de energía a temperaturas iguales que en las tierras minerales, y ese calor almacenado se libera a la atmósfera en las noches claras en forma de energía radiante, lo que no calienta el aire debido a la baja capacidad de absorción del aire limpio.

De acuerdo con las leyes de intercambio de calor, la tierra superficial debe recibir y absorber tanta energía como la que radia. Como la conductividad de calor de la tierra orgánica seca es baja, ésta roba el calor del aire en la proximidad de su superficie y baja la temperatura. Si no hay movimiento de viento que mezcle el aire, la temperatura en la proximidad de la superficie de la tierra baja rápidamente, y se establece un gradiente de temperatura hacia arriba, o inversión de temperatura.

Si intervienen las nubes para absorber y reflejar la radiación nocturna, o si una brisa mezcla el aire e impide que la capa de aire cerca de la tierra se enfríe demasiado, es menos probable que ocurran daños por las heladas.

La transmisión de calor es más rápida en tierras húmedas que en las secas. Una capa superficial seca en tierras de turba o de desechos vegetales, es mala conductora y retrasa la transferencia de calor del subsuelo a la superficie para reemplazar las pérdidas por radiación. Por otra parte, una tierra apisonada, compacta y húmeda, aumenta el intercambio y, por consiguiente, disminuye el peligro de que se dañen las cosechas en el aire nocturno frío, claro y calmado.

La inundación superficial del área o aun la elevación del nivel de agua en el campo, es un método de protección eficaz contra las heladas. Esta práctica da mayor seguridad en sitios donde puede hacerse funcionar el sistema de control de agua para obtener cambios rápidos en los niveles de agua del suelo. Cuando haya duda de que las cosechas puedan tolerar los niveles de agua necesariamente mayores, los riegos por aspersión son más seguros e igualmente eficaces.

La presencia de un volumen de agua, tal como un lago, suaviza los cambios repentinos de temperatura y disminuye el riesgo de daños causados por las heladas. Las áreas de desechos vegetales próximas a los Grandes Lagos se benefician especialmente. Las tierras cercanas al lago Okeechobee, en Florida, quedan protegidas de modo semejante contra los

periodos de frío y son altamente apreciadas para el cultivo de cosechas de mercado.

El desagüe del aire y los movimientos del viento deben ser una consideración importante en la prevención de las heladas, y el valor de las cortinas de viento para impedir el esparcimiento de la tierra y los daños a las cosechas debe compararse con el estorbo que causan en los movimientos y mezcla del viento en los sitios donde se cultivan cosechas tiernas. Se han usado helicópteros y molinos de viento con varios grados de éxito para agitar el aire sobre los campos.

Las tierras orgánicas que se han cultivado durante el tiempo suficiente para producir una superficie de desechos vegetales, son mejores conductoras del calor que las tierras vírgenes de turba, y, por lo tanto, se congelan menos y ofrecen mayor seguridad para las cosechas tiernas que las recientemente desarrolladas. Una cubierta superficial de arena como la que se usa en los pantanos de arándanos disminuye también el peligro de daños causados por las heladas.

Pueden combatirse los daños de las heladas en tierras de desechos vegetales mediante la selección de cosechas que sean menos susceptibles a ellos. H. C. Thompson, de la Universidad de Cornell, agrupó las legumbres en tres clases con respecto a su resistencia al frío: Resistentes (que soportarán heladas muy duras), tales como col rizada, espinaca, nabo, mostaza, cebolla, judías y col; semirresistentes (las que soportan heladas ligeras), tales como betabeles, zanahorias, chirivías, apio y acelgas; tierras (las que no resisten ninguna helada), incluyendo judías, maíz dulce, habas, calabazas, calabaza de Castilla, melones, pepinos, quimbombó, plantas de tomate, berenjena y plantas de pimiento.

El manejo de las tierras orgánicas difiere del de las tierras minerales en varios aspectos. La turba es porosa y abierta y ordinariamente no requiere el arado todos los años. De hecho, el apisonamiento y consolidación con rodillos a menudo tiene importancia en ellas. La consolidación hace que las raíces queden en estrecho contacto con la tierra y facilita la elevación del agua que se encuentra abajo, lo que beneficia la germinación, disminuye los riesgos de daños de las heladas y tiende a reducir el esparcimiento de la tierra durante tiempo seco. Generalmente los cultivos deben ser más superficiales en tierras minerales, especialmente después de que se inicia el desarrollo de las raíces.

Ordinariamente son más recomendables los fertilizantes comerciales que el estiércol. Puede necesitarse nitrógeno en las turbas vírgenes, en las más ácidas, o en las áreas con malos desagües; pero se necesita menos frecuentemente en las tierras orgánicas buenas totalmente descompuestas, que especialmente requieren potasio y fósforo y que generalmente necesitan microelementos tales como cobre, manganeso, cinc y borón. La sal común beneficia algunas cosechas, y la cantidad, clase, proporción y tiempo de fertilización dependen de la cosecha que se cultive, del clima, de la naturaleza química y física de las turbas o tierras de desechos vegetales y de su desagüe, de la fertilización previa y del espacio de tiempo bajo cultivo.

A base de las pruebas de tierras y grados de desagüe, se han preparado recomendaciones especiales por muchas de las estaciones agrícolas experimentales sobre los grados de fertilizantes, aplicaciones, proporciones de aplicación y adición de microelementos.

Pueden cultivarse muchas cosechas en las tierras orgánicas mediante el control y manejo adecuado del agua. En Florida se cultivan para los mercados de invierno cosechas de legumbres que incluyen judías, maíz dulce, pimiento, col y apio. La caña de azúcar y las hierbas de pastura, especialmente las de San Agustín, se producen muy bien. La ramia, que es una fibra, prospera muy bien en esas tierras. En California se cultivan en tierras orgánicas el maíz, papas, cebollas, remolachas de azúcar, espárragos, apio y otras legumbres especiales y cosechas de campo. En el noroeste del Pacífico las tierras de turba y de desechos vegetales producen forrajes, y las cosechas de legumbres que son apropiadas a las condiciones cli-

matológicas y a las demandas del mercado. Los arándanos se cultivan en Massachusets, Wisconsin, New Jersey, Washington y Oregón. Las plantas sólo crecen en estado silvestre en los pantanos de turbas ácidas o de desechos minerales; un buen indicio de los requerimientos de tierras de esas plantas. Las moras prosperan también en condiciones semejantes.

En las tierras orgánicas del condado de Sanpete, en Utah, el único método práctico conocido hasta ahora para obtener el suministro de humedad consiste en la inundación de la tierra a fines del invierno y principios de primavera. La Estación Agrícola Experimental de Utah recomienda una rotación de cosechas en las tierras de turba de un año de cebada o avena, un año de trébol dulce o cebada y avena alternadas con un barbecho limpio y firme en verano. En las tierras de desechos vegetales se sugiere una rotación de cosechas más prolongada, que incluya chícharos para enlatar y papas. La producción comercial de apio y col de las tierras de desechos vegetales de esa zona parece depender del desarrollo de un suministro de agua adecuado para obtener riegos suplementarios.

En los estados de los Grandes Lagos se emplean las tierras de turba y de desechos vegetales en varios sistemas de producción de cosechas, dependiendo del tamaño y calidad de los depósitos, su localización en relación con los mercados y el clima, las facilidades de desagüe y la experiencia y preferencia de los cultivadores.

El Servicio de Extensión de la Universidad de Wisconsin da la siguiente lista de usos para las tierras orgánicas: Producción suplementaria de forrajes en las granjas donde las cosechas principales se encuentran en las áreas de tierras altas; producción tanto de forrajes como de cosechas en efectivo en las granjas donde no hay tierras altas disponibles (en las que se cultivan el maíz dulce, col, hierbas de semilla, cebollas, menta, cosechas de raíces y algunas legumbres de follaje si las heladas no constituyen un riesgo considerable y si hay disponible mano de obra y equipo); producción de cosechas especiales si pueden cultivarse cosechas de elevados ingresos brutos que requieren buen desagüe e intensas prácticas de cultivo y de manejo de tierras. Los ingresos de esas cosechas quedan sujetos a fluctuaciones considerables, y para el agricultor ordinario está indicada la variación de las cosechas.

En New York y New Jersey son deseables las buenas tierras agrícolas orgánicas para la producción de cosechas de mercado y otros tipos especiales, porque los mercados de las ciudades están próximos. Las turbas más ácidas se emplean para la producción de arándanos o se explotan para usarse en el mejoramiento de céspedes y otros fines hortícolas. En Maine las turbas se usan actualmente para camadas o producción de pulpa.

La recuperación de los Everglades de Florida ilustra los métodos de control de agua que se han empleado para la recuperación de grandes extensiones de tierras orgánicas.

Los Everglades de Florida contienen más de 3,100 millas cuadradas de turba y tierras de desechos vegetales. Las tierras se formaron en una depresión sedimentaria de piedra caliza que tiene aproximadamente 100 millas de largo y 40 millas de ancho al sur del lago Okeechobee, en dirección al mar. Alrededor de los lados oriental y occidental del lago se extienden parcialmente brazos de los Everglades, y éstos están bordeados al Este por el angosto promontorio costero del Atlántico, que llega a una altura aproximada de 15 pies, y al Oeste por un angosto arco anticlinal que llega a una altura aproximada de 25 pies y que abarca las áreas conocidas como el Gran Pantano de Cipreses y el Jardín del Diablo.

En las antiguas épocas geológicas, el lago Okeechobee, un lago casi circular de agua dulce, aproximadamente de 725 millas cuadradas, recibía el agua arrastrada por el río Kissimee y otras corrientes tributarias que desaguan una vertiente hidráulica aproximadamente de 4,000 millas cuadradas. El lago, que no tiene salida definida, se desbordó en sus riberas sur y este cuando alcanzó un nivel aproximado de 20 pies sobre el nivel del

mar. El desbordamiento, juntamente con una precipitación anual de más de 70 pulgadas, se movió lentamente a través de la espesa vegetación sobre la llanura casi plana de turba y de tierra de desechos vegetales para escapar hacia el Este a través de unos cuantos arroyos pequeños que dividían la barrera del montículo de la costa Oeste, o llegar eventualmente al mar a través de las espesas selvas de mangles del extremo de la península.

El sedimento, las arcillas y los coloides orgánicos fueron arrastrados en suspensión y depositados durante los desbordamientos intermitentes en la proximidad de las riberas del lago, para entremezclarse con los desechos de plantas y formar tierras de desechos vegetales. Como esas tierras contenían cantidades suficientes de los microelementos de que carecían las turbas y estaban relativamente exentas de heladas, se convirtieron en tierras de cosechas de gran valor al desaguarse. En las antiguas vertientes de inundación, a lo largo de las márgenes orientales y occidentales, crecían sumergidas plantas acuáticas suculentas que formaron más tarde una turba sedimentaria muy ligera, que resultó poco apropiada para su recuperación y que se emplea para almacenamiento de agua y como refugio de los peces y de la fauna. Sin embargo, la mayor parte de las tierras de los Everglades se derivaron de la hierba de sierra y otras plantas relacionadas de pantano, que formaron turbas de páramos bajos ligeras, afelpadas y fibrosas, de color café y con bajo contenido de cenizas. Cuando se desaguan, fertilizan e incrementan, con los elementos secundarios se descomponen y forman excelentes tierras de campo con la labranza, y actualmente este tipo de tierra constituye la mayor parte de las tierras agrícolas productivas de los Everglades.

El área total de los Everglades que se encuentra cubierta de turbas y tierras de desechos vegetales, tiene aproximadamente 2 millones de acres. Debido a su escasa profundidad o a la mala clase de las tierras, poco menos de la mitad de esa superficie se considera apropiada para usos agrícolas.

La situación original de los Everglades se ha alterado considerablemente con las obras de desagüe emprendidas primeramente por los intereses estatales y locales y más tarde por el Gobierno Federal. Los intentos prematuros de desagüe comenzaron aproximadamente en 1880, y en 1906 se iniciaron intensas operaciones de desagüe, después de que la legislatura estatal creó el Distrito de Desagüe de los Everglades, que incluía aproximadamente 4.5 millones de acres. El plan inicial consistía en extender los diversos ríos costeros cortos a través de los pantanos hasta desembocar al lago Okeechobee, pero pronto se comprobó que esto era impracticable para controlar los altos niveles de agua del mismo. El lago se bloqueó con diques de tierra vegetal para impedir que sus aguas escaparan a los Everglades, y se construyeron salidas adicionales directamente hacia el mar, dejándose el sistema original de canales para dar servicio a las tierras de turba y desechos vegetales. Aun así el sistema resultó inadecuado. Las tierras tuvieron un desagüe excesivo durante la estación de sequía y no lo tuvieron suficiente durante la estación de lluvias. En 1926 y 1928 los diques de tierra vegetal alrededor del lago Okeechobee fueron destruidos a impulsos de los huracanes por las mismas aguas del lago, y los desbordamientos e inundaciones resultantes causaron grandes daños en las propiedades, así como pérdidas de vidas, y el Gobierno Federal se encargó del control de las aguas del lago para proteger la navegación y evitar los daños de las inundaciones. Los diques de tierra vegetal se reemplazaron con sólidas represas de roca, construyéndose canales ensanchados de salida provistos de compuertas de control a prueba de huracanes. Estas medidas han resultado muy eficaces contra los desbordamientos.

Mientras tanto, se había encontrado que la labranza en los Everglades sólo podía llevarse a cabo con éxito si se rodeaban con diques los campos, para protegerlos contra las inundaciones de los altos niveles de agua de los canales o de las tierras circunvecinas. Se hizo necesaria la instalación de bombas reversibles para bombear el agua de los campos

a los canales en las estaciones de lluvias, y de los canales a los campos durante las sequías. Se organizaron subdistritos de desagüe para el control de las aguas locales, y en los distritos se han construido zanjas, diques y plantas de bombeo que suministran diversos grados de protección aproximadamente para 150,000 acres. Los terratenientes individuales fuera de esos subdistritos de desagüe han establecido sistemas de control de agua en unos 40,000 acres.

Las investigaciones efectuadas por el Departamento de Agricultura y otras agencias, publicadas en 1948, revelaron que el control inadecuado del agua había dado por resultado un exceso de desagüe durante los periodos de sequía, que causó grandes pérdidas de tierra debidas a la incineración y a la oxidación. Se encontró que el promedio de pérdida de profundidad era aproximadamente de 1.25 pulgadas anuales, y que las mejores tierras al norte de los Everglades perdieron 40% de su volumen original durante 40 años de desagüe. Las aguas saladas del océano penetraron también tierra adentro bajo las ciudades costeras durante los periodos de escasas lluvias.

Las fuertes lluvias y los vientos huracanados de 1947 causaron inundaciones en toda el área de los Everglades, aunque se bloqueó el desbordamiento del lago Okeechobee. El daño causado por esas inundaciones llegó casi a 50 millones de dólares en las propiedades, y demostró que las obras del Distrito de Desagüe de los Everglades eran insuficientes para su control.

En 1949 se preparó un vasto plan de control de inundaciones y conservación de aguas para el centro y el sur de Florida, incluyendo los Everglades, y se autorizó por el Congreso y la legislatura de Florida como programa cooperativo federal, estatal y local. Los planos incluían la construcción de grandes represas de roca como protección adicional contra los desbordamientos, mayores canales auxiliares diseñados para transportar el agua hasta gigantescas estaciones de bombeo capaces de remover 0.75 de pulgada de desbordamiento en 24 horas, y para bombear el desbordamiento de tiempo de lluvias de las tierras agrícolas al lago Okeechobee y a las áreas de represas de los Everglades, que se habían destinado a la conservación del agua, y en las que se almacena para usarse como riegos en las épocas de sequía.

Las instalaciones de bombeo en los Everglades varían de tamaño desde las pequeñas bombas portátiles de campo, capaces de manejar 500 galones por minuto, a las gigantescas plantas empleadas en el programa de control de inundaciones del centro y del sur de Florida. Una de esas plantas en el canal de West Palm Beach da servicio a una área agrícola de 230 millas cuadradas, y tiene una capacidad de diseño de 4,800 pies cúbicos por segundo con una succión de 11 pies y una eficiencia de bombeo de 75%. La planta consta de 6 bombas individuales con capacidad de 800 pies cúbicos, movidas por motores "Diesel" de 1,600 caballos. Se calcula que el costo total de construcción de la planta fue aproximadamente de 3.5 millones de dólares.

La mayor parte de las unidades de bombeo de los subdistritos de desagüe emplean bombas del tipo de tornillo sinfín, con capacidades de 30,000 a 60,000 galones por minuto, y funcionan con motores "Diesel". Las unidades están construidas en tal forma que cuando es necesario el agua puede bombearse a los sistemas de desagüe. Los registros existentes en cuatro de los grandes distritos de bombeo, de 1933 a 1938, mostraron que el promedio de succión estática varió de 3.5 a 4.4 pies. La profundidad promedia del agua bombeada en esos distritos varió de 2.3 a 4.4 pies anuales, y el costo total anual de bombeo, incluyendo los cargos fijos, que fueron aproximadamente de dos terceras partes del costo total, varió de 1.45 a 2.57 dólares por acre.

En los Everglades, en donde la mayoría de las bombas individuales de granja tienen capacidades que varían de 5,000 a 30,000 galones por minuto, los requerimientos de las instalaciones de bombeo son típicos de la mayoría de las tierras de turba y de desechos vegetales. Para llenar esos requisitos se emplean ordinariamente dos tipos de bombas. En sitios en donde la portabilidad y la inversión

del flujo son características necesarias, ha tenido gran aceptación una bomba centrífuga modificada montada en un tablero, que tiene un eje vertical y dobles aberturas de succión, con un flujo periférico producido por un impelente encerrado en una caja espiral. Una válvula de compuerta impide el retroceso del flujo, y las pruebas de funcionamiento mostraron que la eficiencia de esta bomba, de estanque a estanque, variaba de 30 a 40%, con succiones de 3 a 9 pies a diferentes velocidades, variando muy poco su eficiencia con los cambios de velocidad o de succión.

Para instalaciones permanentes un tipo popular es la bomba de hélice de flujo axial de 3 aspas. Ordinariamente se monta en una cámara doble, con la succión en la cámara más baja. Una campana flotante, accionada por el flujo ascendente, cae en su asiento para impedir el retroceso del flujo cuando cesa el bombeo. La dirección del flujo se controla mediante el manejo de compuertas en las ranuras de las cámaras superior e inferior. Para hacerla portátil se monta en una caja cilíndrica una bomba semejante, con el mismo impelente y características generales de diseño. Es muy popular para instalaciones semipermanentes en sitios donde se desea bombear por encima de las represas. La eficiencia del tipo montado en cámaras varía de 45 a 60%.

Los motores de combustión interna se emplean en todos aquellos sitios donde las bombas se usan primordialmente para desagüe. El uso de motores eléctricos para el bombeo se limita a los riegos en los Everglades, en donde no son perjudiciales las fallas de energía durante las tormentas. El empleo de la energía eléctrica sería muy conveniente en otros distritos a donde no llegan los huracanes, debido a la facilidad con que se controlan los niveles de agua.

El empleo de zanjas abiertas suplementadas por surcos profundos es práctica aceptada en los Everglades. En esa región los sistemas de zanjas tienen laterales a media milla de distancia en los límites de tierra de una sección y media sección. Las zanjas de granja se excavan en ángulo recto con los laterales y se espacían comúnmente de 660 a 1,320 pies una de otra, dividiéndose así la granja en campos de 40 u 80 acres y en unidades de desagüe de 20 a 40 acres. Es necesario el esparcimiento menor para las cosechas de mercado, y el más apartado para caña de azúcar y pastos. Los desagües de surco profundo de 12 a 15 pies de distancia entran en ángulo recto en las zanjas de granja.

Los laterales tienen aproximadamente 15 pies de ancho y de 4 a 6 pies de profundidad. Las zanjas de granja tienen casi la misma profundidad, pero son más angostas. La turba fibrosa tiene hendiduras columnares predominantes que impiden la construcción de bordos en declives pronunciados. Algunas zanjas se excavan con lados casi verticales, y los declives laterales rara vez son más planos que 0.5 a 1.

Como la tierra es prácticamente plana, ordinariamente se usa un declive de 3 pulgadas por milla para calcular los tamaños de las zanjas. Con la fórmula Manning se emplea un coeficiente de aspereza "n" de 0.035 para los laterales, y de 0.040 para las zanjas de granja más pequeñas. Esos valores relativamente altos son necesarios debido al rápido crecimiento de las plantas acuáticas subtropicales, tales como jacintos acuáticos, hierbas de Pará y musgos sumergidos, que disminuyen la capacidad del flujo.

JOHN C. STEPHENS *es supervisor de la Rama de Investigaciones Sobre Conservación de Tierras y Aguas del Proyecto de los Everglades del Departamento de Agricultura.*

La disposición de las filtraciones y aguas de desecho

William W. Donnan y George B. Bradshaw.

SE CALCULA QUE 8 MILLONES de acres de tierra en el Oeste necesitan desagüe, y que otros 8 millones de acres adicionales se beneficiarían si tuvieran mejores desagües.

Existe en esto un serio problema económico. La mayoría de las áreas de riego se ponen en producción solamente después de que se invierten grandes sumas para desarrollar un suministro de agua, llevarla a las granjas y nivelar la tierra. Si hay necesidad de invertir más dinero en obras de desagüe y recuperación, ¿dónde quedan las utilidades?

Parece parodójico que ocurran problemas de desagüe en tierras que se consideran como áridas. ¿Cuál es la causa?

Probablemente la causa principal es el uso excesivo del agua. Cuando ésta abunda y es barata, a menudo se usa en exceso y el resultado es una situación general de saturación. Las inundaciones sin control, los continuos riegos, la falta de salidas de aguas de desechos y los periodos de riego excesivamente largos, tienden a promover la saturación.

Otra causa adicional es la filtración de los canales, laterales y zanjas. De las 135,000 millas, o más, de canales de riego y laterales en los 17 estados del Oeste, sólo están recubiertos del 6 al 8%, y el resto son canales de tierra sin tratamiento alguno, ya que cuesta menos construirlos, pero producen pérdidas por filtración que pueden llegar al 70% del agua que transportan. La filtración penetra a las capas subterráneas a alturas mayores que las de las tierras de riego, y a menudo se convierte en fuente directa de saturación de las áreas más bajas, como ocurre en el valle de South Platte, en Colorado, en el valle de North Platte, en Nebraska, y en la cuenca de Big Horn, en Wyoming.

Una tercera causa es la estratificación inherente de las tierras de riego del Oeste. Muchos sistemas de riego fueron factibles porque incluían un programa para regar las extensas llanuras planas de aluvión, los valles lacustres y las cuencas ancestrales de los lagos. Debido a la forma en que se depositan los materiales de tierra en esas áreas, a menudo es malo su desagüe natural interno. Arriba o abajo de las capas de arena hay estratos relativamente impermeables de arcilla u otras tierras que son lentamente permeables, las que, cuando se aplican aguas de riego, impiden la filtración del sobrante. Así se forman las elevadas mesetas de agua, como ocurre en los valles Imperial y de San Joaquín, en California.

Una cuarta causa es la presión artesiana de las fuentes subterráneas. Los pozos que se perforan hacia abajo hasta penetrar a los acuíferos subterráneos, producen a menudo flujos que pueden no utilizarse totalmente para riegos. Se han saturado valles enteros debido a la falta de control del flujo de los pozos artesianos. Ejemplos de esto son el valle Cache y la cuenca Beaver, en Utah, y el valle Fayette, en Idaho.

Otras causas de los problemas de desagüe en las áreas de riego se derivan de los elementos minerales en las aguas de riego, elementos minerales en las tierras vírgenes, características topográficas del área, naturaleza de las cosechas y combinaciones de esas causas.

No hay un método rápido para solucionar todos los problemas de desagüe. Algunos de ellos son sencillos pero la mayoría, sin embargo, requiere que se investiguen los elementos naturales de los valles y su complejo de tierras, aguas, cosechas y prácticas de riego. Es necesario hacer perforaciones, instalar pozos de observación y tomar lecturas.

Los aspectos principales que hay que considerar en cualquier investigación de desagüe son la topografía, tierras, salinidad, alcalinidad o acidez de las áreas saturadas, así como las mesetas, orígenes y calidad del agua del suelo. Hay que contestar algunas preguntas: ¿Hay salida para las aguas de desagüe? ¿Pueden removerse los excesos de agua de las tierras? ¿El agua viene de las lluvias, riegos, filtraciones o presión artesiana? ¿Qué cantidad de agua debe desaguarse? ¿Qué tipo de sistema de desagüe puede dar los mejores resultados?

El primer paso consiste en una revisión de los datos relativos al área; mapas de contorno que pueden eliminar la necesidad de una inspección topográfica; fotografías aéreas que revelen la existencia de áreas de filtración, sitios salinos o alcalinos, fuentes de agua y, posiblemente (por medio de la cantidad de crecimiento de plantas en ellos), la presen-

cia de barreras subterráneas de arcilla y mantos de arena; informes antiguos de ingeniería que se hicieron originalmente con fines de posibles expansiones o recuperaciones; boletines geológicos, de suministro de agua, estudios efectuados en las estaciones experimentales, inspecciones de tierras y publicaciones de los ingenieros estatales.

Podrían también analizarse los aspectos históricos del problema. Probablemente el área ha tenido siempre mal desagüe y tal vez alguien ha tratado en vano de cambiar un capricho de la Naturaleza. El problema puede haberse presentado después de la construcción de un canal, presa o depósito, o puede ser resultado de un cambio en la producción de cosechas o de la perforación o abandono de pozos. Puede relacionarse con la expansión de las áreas vecinas de riego, y su avance gradual durante cierto número de años podría ser indicación de malas prácticas de riego.

Debe hacerse un reconocimiento de campo en el área donde se presenta el problema, de preferencia en compañía de una persona que esté familiarizada con la tierra. La inspección debe ser lo suficientemente completa para que el investigador se familiarice con el número y localización general de las vías de agua naturales; localización y condiciones de las posibles salidas para cualquier sistema de desagüe que se proyecte; localización y características generales de todos los canales, laterales, pozos, estanques, manantiales, depósitos u otras fuentes de agua; localización y características generales de los desagües próximos; características generales de las prácticas de riego; nivelación, declives, forma de aplicación del agua y eficiencia; localización de características topográficas tales como dunas, bancos, cavidades y brotes; cálculo del nivel de agua actual y cualquier información disponible sobre las fluctuaciones; prácticas actuales de cultivo, condición de las cosechas, y cualquier cambio habido en las prácticas acostumbradas en años anteriores.

En la práctica esos reconocimientos pueden hacerse rápidamente y deben formar la base para todas las investigaciones posteriores.

El segundo paso consiste en una investigación de la superficie del suelo o inspección topográfica, que se hace para determinar la configuración superficial de cualquier área de desagüe que se proyecte, y que establece los declives superficiales y descubre las salidas potenciales de desagüe. Permite averiguar el grado de preparación de la tierra en las áreas de riego y precisa el hecho de que a veces las pérdidas de cosechas se deben a mala nivelación y no a malos desagües. Esa investigación debe indicar también la dirección de los desagües, el tipo de sistema de desagüe que podría usarse (superficial, de tubería o por medio de bombeo) y, hasta cierto punto, algunos de los factores económicos implícitos. De ese modo, si los declives naturales, salidas y configuración superficial son favorables, el sistema de desagüe será menos costoso.

Generalmente las inspecciones de campo deben proporcionar todas las mediciones físicas necesarias para levantar un mapa de la configuración superficial, el cual constituirá la base de donde se tomarán todas las mediciones, tanto verticales como horizontales.

Deben analizarse los datos obtenidos de la inspección topográfica, y la configuración superficial puede revelar el sentido del flujo subterráneo del exceso de filtración o el punto de concentración de ese movimiento. Las interrupciones del declive, los bancos, los mantos de aluvión, los lechos viejos de los arroyos, canales o vías naturales de desagüe, pueden ser de importancia para el problema de desagüe, y las localizaciones de manantiales, sitios de filtración, pozos abandonados o puntos de desviación podrían ser la clave para su solución.

El tercer paso consiste en hacer una inspección de la tierra, que es sumamente importante en toda investigación de desagüe. Esa inspección determina la localización, extensión y características físicas de las capas que se encuentran bajo los materiales de la tierra. Los puntos que hay que considerar en el área de la tierra

son los siguientes: ¿Qué tipos de tierras se encuentran presentes? ¿Cuál es el grueso de los diversos estratos? ¿Esos estratos son continuos e interconectados? ¿Cuál es su posición vertical con respecto a la superficie del suelo y a cada uno de ellos? ¿Cuál es la conductividad hidráulica de cada estrato y el promedio de conductividad hidráulica del perfil saturado?

El equipo necesario para efectuar las inspecciones de tierras depende de la información que se requiera. Entre los muchos tipos de barrenas empleadas para obtener muestras de tierra, probablemente el más común es la de poste. La barrena de huerto, una modificación de la anterior, utiliza una broca cilíndrica de 4 pulgadas de diámetro y 10 de largo, con dos segmentos cortadores en su fondo, y se usan muchos tipos diferentes de barrenas para perforaciones de tierras. La barrena ordinaria de tierra de 5 pies, con una broca de 1 pulgada, es útil para investigaciones poco profundas, pero no es lo suficientemente larga para inspecciones de los desagües subsuperficiales.

Hay varios tipos de barrenas mecánicas. Una de ellas es una perforadora portátil que cabe en la caja de un pequeño camión de reparto y que tiene un motor de gasolina de 4 tiempos y 3 caballos, montado directamente sobre el eje de mando, que puede perforar hasta una profundidad de 6 pies.

Cuando se necesita un reconocimiento de las series de arenas y arcillas a profundidades de 20 hasta 100 pies, probablemente el mejor tipo de implemento es la perforadora hidráulica. Se bombea agua bajo presión en un tubo de un cuarto de pulgada a una pulgada de diámetro. A medida que el tubo se hace penetrar en la tierra, la sensación dada por éste conforme avanza hacia abajo y los materiales erosionados que salen de su extremo superior indican si el tubo se encuentra en arena o arcilla.

A veces son importantes los reconocimientos a profundidades mayores de 20 pies en los subestratos, especialmente si se cree que las presiones artesianas más profundas son la causa del problema. La técnica de perforación hidráulica tiene ciertas limitaciones. A menudo es difícil de llevar a cabo en caliche y otras capas duras. Cuando se encuentran gravas extremadamente gruesas, puede usarse aquagel o lodos de perforación con el agua del sistema, para ayudar a la penetración de los estratos.

Si se necesitan muestras de tierra para el análisis de las características físicas e hidráulicas, no son aplicables los implementos del tipo de barrena ni el sistema de perforación hidráulica. Hay varios tipos de tubos de muestreo poco costosos que pueden usarse para obtener muestras en el sitio.

La profundidad de la perforación es muy importante. Para los desagües de tierras de riego se necesitan informes sobre las características y extensión de los estratos que pueden desaguarse a profundidades por lo menos de 10 pies, y frecuentemente mucho mayores. Como el agua del suelo en áreas de riego contiene a menudo cantidades perjudiciales de sal, las mesetas de agua deben bajarse a profundidades de 4 a 5 pies, a fin de que no se perjudiquen las raíces de las plantas en estado de crecimiento. La meseta de agua debe mantenerse a poca altura, a fin de controlar el movimiento ascendente de la sal. Si se emplean líneas de tubería o zanjas abiertas para desaguar la tierra, deberán instalarse a profundidades de 5.5 a 8.00 pies, tratándose de tuberías, y de 6 a 12 pies tratándose de zanjas abiertas.

El agua que se mueva a través de la tierra hasta un punto de salida tal como una línea de tubería o zanja abierta, sigue un camino curvo o línea de corriente de flujo. Si las tierras son homogéneas, el patrón de flujo puede llegar más abajo del sistema de desagüe, retrocediendo luego al mismo. Si las tierras están estratificadas, las de contextura fina restringen la línea de corriente de flujo, y, por lo tanto, las capas restrictivas de tierra pueden regular los espaciamientos necesarios y la mejor profundidad de las líneas de tubería.

Por lo tanto, si el investigador desconoce las características de los materiales de tierra a profundidades mayores de 5 pies, puede proyectar una línea de tubería que se colocará en una capa descono-

cida de arcilla, a 10 pies o aún más abajo de la misma. Por lo tanto, es absolutamente esencial el conocimiento de los estratos de la tierra hasta profundidades de 8 a 15 pies para desagües de tubería y abiertos, de 15 a 25 pies para resumideros y pozos poco profundos, y hasta la profundidad proyectada en los pozos para el desagüe por medio de pozos de bombeo.

Debe llevarse un registro de toda perforación que se haga, de preferencia al tiempo de hacerla, y en ese mismo momento, debe localizarse la perforación en el mapa del área, a fin de que pueda hacerse una delineación que muestre los linderos de los diferentes tipos de tierras capaces o incapaces de desaguarse.

A medida que se hacen perforaciones, deben hacerse anotaciones en la hoja de registro de cualquier información pertinente, tales como profundidad de la meseta de agua, contenido de humedad relativa de los diferentes estratos, manchado o decoloración de las partículas de tierra y presencia de raíces, minerales y otras características. Si se emplean tubos de muestreo debe notarse la estructura de la tierra, estratificaciones pequeñas y presencia de lentículas (hendiduras llenas de arena) en las arcillas. Las características que hay que buscar en los estratos arenosos son las pequeñas capas de sedimentos o arcillas que tienden a hacer más lento el movimiento del agua a través de ellas. Las características que hay que buscar en los estratos arcillosos son las hendiduras llenas de arena que convierten una barrera casi impermeable en un estrato lentamente permeable. Si se buscan y registran esas características individuales, es posible clasificar y segregar otros estratos aparentemente semejantes.

Pueden hacerse varios análisis de laboratorio de las tierras para determinar la posibilidad de desaguarlas, es decir, su contextura, estructura, tamaño de partículas, espaciamiento de los poros, dispersión, consolidación, aumento de volumen y contenido mineral, todos los cuales influencian su capacidad de transmitir o liberar el agua.

Es necesario hacer un cálculo de la conductividad hidráulica de los estratos que se encuentran bajo la superficie de la tierra, a fin de emplear técnicas adecuadas. La conductividad hidráulica de cualquier estrato o grupo de estratos puede determinarse por mediciones de campo (mediciones directas de campo de la conductividad de todo el perfil de la tierra, por medio de un pozo que se bombea o con el método de agujeros de barrena, y mediciones de los estratos con un pequeño tubo o piezómetro); por medio de mediciones de laboratorio utilizando un implemento permanente, o por mediciones indirectas utilizando la textura, análisis mecánico, porcentaje de sedimentos y arcilla, porcentaje de espacios de poros y límite plástico.

Las mediciones de campo, probablemente las más precisas, requieren sitios especiales y toman más tiempo. Las mediciones de laboratorio son bastante precisas cuando se emplean muestras tomadas en el sitio, pero necesitan también mucho tiempo y equipo especial. Las mediciones indirectas sólo son buenas cuando los datos y arcilla, porcentaje de espacios de poros y límite plástico.

Debe hacerse una inspección para determinar la naturaleza y extensión de la concentración de elementos minerales perjudiciales en el perfil de la tierra. El grado de salinidad, alcalinidad o acidez de las tierras saturadas afecta el costo total de recuperación después del desagüe. Las tierras extremadamente saladas pueden requerir mayores periodos de estancamiento del agua en la superficie de la tierra para lavar la acumulación excesiva de elementos perjudiciales. Las tierras sumamente ácidas pueden necesitar fuertes aplicaciones de cal. El equipo necesario para verificar la salinidad y alcalinidad puede consistir de sencillos indicadores de color o de puentes de resistencia, y un completo análisis iónico de laboratorio. En los reconocimientos preliminares pueden emplearse las inspecciones visuales que utilizan plantas indicadoras, depósitos de sal y color de los indicadores, y las muestras de tierra deben enviarse a un laboratorio para que se sometan a análisis antes de hacer recomendaciones sobre la proyectada recuperación.

La inspección de la meseta de agua es parte importante de toda investigación de desagüe. Se instalan pozos de observación para determinar la posición de la meseta de agua en diversos sitios del área donde existe el problema, así como en diferentes estratos de la tierra. Se emplean también pozos de observación para determinar la extensión y grado de severidad del problema. La producción de cosechas pobres, las áreas pantanosas o los sitios alcalinos, ordinariamente son síntomas de saturación. Sin embargo, el pozo de observación suministra datos positivos sobre la posición y fluctuaciones de la meseta de agua.

Si se trazan hidrógrafos de la meseta de agua en serie con la precipitación, riegos, desbordamientos, bombeo, u otros fenómenos hidrológicos, puede obtenerse un indicio de la causa de la ascensión o descenso de la misma. En muchos sitios se encuentran disponibles ordinariamente algunos registros de niveles de agua, profundidad de las mesetas de agua, mapas u otros datos.

El tipo, localización y número de los pozos de observación adicionales se determinan por el tipo de información que se necesite. El tipo más común es un pozo ordinario, un agujero abierto hecho con una barrena de tierra o de poste o perforado con algún equipo comercial. Si se va a usar un pozo de este tipo durante cualquier periodo de tiempo, debe revestirse con una cubierta de tubo de lámina de metal, tubo de estufa, tubo de desagüe o cualquier tipo comercial normal de cubierta para pozos.

Una red de pozos es muy eficaz para la investigación de todo un valle. Una red de esa clase, orientada con la red de inspección de los estratos, facilita su correlación con los datos de la tierra.

Generalmente se construyen los pozos de observación colocando tubos en un agujero hecho con una barrena. El agujero se perfora con la barrena a la profundidad deseada, y puede usarse como cubierta tubería de cualquier diámetro, desde un cuarto de pulgada a 6 pulgadas. Los tubos abiertos solamente en los extremos deben rellenarse en forma adecuada para asegurar que se obtenga un verdadero pozo. La manera adecuada de rellenar el pozo consiste en colocar el tubo abierto sobre una pequeña cantidad de grava en el fondo del agujero, echando después más grava alrededor del tubo hasta un punto que quede arriba de la meseta de agua del suelo. Puede emplearse entonces el material nativo para acabar de rellenar el agujero hasta la superficie del suelo. El tubo del pozo debe sobresalir unas 16 pulgadas arriba de la superficie.

Pueden usarse también como pozos de observación los agujeros abiertos hechos en inspecciones de campo.

En una investigación de desagüe de cualquier tipo es muy útil un piezómetro de agua del suelo, que consiste en un tubo de pequeño diámetro que se coloca en la tierra en tal forma que no haya escurrimiento en su exterior, penetrando el agua al tubo solamente desde el fondo.

Un pozo común indica ordinariamente la profundidad del agua o presión hidrostática de todo el perfil subterráneo de la tierra a la profundidad del pozo. En un pozo abierto, sin revestimiento, el agua se filtra por todos lados y llena el agujero a cualquier altura producida por la mayor presión hidrostática. El piezómetro está diseñado para indicar la presión hidrostática del agua subterránea solamente en el fondo del aparato. El agua sólo puede entrar al piezómetro desde el fondo, sin que pueda hacerlo del exterior a todo lo largo del tubo.

Como el agua del suelo se mueve de un punto de alta presión hidrostática a otro de baja presión, puede registrarse el movimiento de ella si se miden las presiones hidrostáticas. Los juegos de piezómetros espaciados a intervalos, muestran la presión hidrostática en todo un perfil y ayudan al investigador a determinar el movimiento de la filtración. Se ha usado la perforación hidráulica para instalar piezómetros y perforar pozos a profundidades de 100 pies o más, y este método permite profundidades mucho mayores que el de forzar los tubos en la tierra.

Si la precipitación es el origen de los excesos de agua, el remedio podría consistir en un mejor desagüe superficial;

si proviene de la filtración de los canales, se necesitará un desagüe de intercepción, y una presión artesiana sugiere el empleo de pozos de alivio.

En algunas áreas el origen del agua es obvio. Si embargo, en muchos valles del Oeste los orígenes del agua son muchos y pueden encontrarse combinando la información mencionada sobre geología, topografía, estratos de tierra, naturaleza y concentración de elementos minerales y mesetas de agua, hasta que se produzca un patrón que precise el origen.

Deben analizarse los registros de distribución mensual y las tendencias a largo plazo de la precipitación. La distribución de la precipitación debe relacionarse con las fluctuaciones de la meseta de agua. Si coinciden, la precipitación puede ser la fuente de agua dominante, y en caso contrario, probablemente la precipitación tiene escaso efecto en la meseta de agua.

Si es posible deben relacionarse los registros de largos periodos de precipitación con los hidrógrafos de largos periodos de niveles de agua, a fin de determinar si las mesetas de agua han subido después de los periodos de humedad, y viceversa. La filtración profunda de los acuíferos artesianos u otros es lenta; pero a menudo se manifiesta por una subida de los niveles de agua, probablemente muchos años después del máximo de un periodo de humedad. En algunas localidades la lluvia es menos significativa que los periodos previos de fusión de las nieves. La precipitación afecta en forma diferente a los pozos artesianos, a los pozos estáticos profundos y a los piezómetros de escasa profundidad. La reacción de la superficie de agua en los pozos indicará el grado, modo y duración de la influencia de la precipitación en la meseta de agua.

A MENUDO LOS PROBLEMAS DE DESAGÜE en tierras de riego pueden atribuirse a las prácticas de riego.

A fin de determinar el efecto que tengan esas prácticas en la meseta de agua, debe considerarse lo siguiente: El efecto de los riegos individuales en la meseta de agua; las fluctuaciones de la misma durante la estación de riego, y sus cambios de altura durante un periodo de varios años después de que se iniciaron los riegos.

La filtración es una fuente principal de agua en sitios en donde el desagüe es un problema. La filtración causada por el hombre se deriva generalmente de las obras de los sistemas de riego, tales como canales, depósitos o estructuras semejantes. La comparación entre las fluctuaciones de los niveles de agua del suelo y las de los niveles de agua en los canales o depósitos, indicará si hay filtraciones en esas estructuras. A menudo la filtración subsuperficial se indica por el crecimiento de tules, sauces u otras plantas que buscan el agua.

Un acuífero subterráneo bajo presión hidrostática puede ser una fuente de agua. Las presiones artesianas se deben a la restricción de las capas impermeables que impiden el libre flujo vertical del agua. Un pozo que se perfora a través de ellas fuerza el agua a la superficie igualmente que un pozo artesiano que fluye. Es muy importante determinar cuál es el acuífero que causa la presión artesiana, ya que entonces sería posible seguir la continuidad del estrato hasta su origen.

El examen de los registros de pozos proporciona a menudo un indicio del acuífero que se encuentra bajo presión. Otros indicios serían la medición de la diferencia de presión en los pozos de profundidades distintas, el periodo de presión máximo en los diversos pozos y la calidad del agua en varios de ellos. Por ejemplo, no es raro en áreas de presión artesiana que varias zonas de acuíferos queden separadas por capas de arcillas esquitosas o pesadas. Las mediciones de la presión de los pozos que penetran a diferentes estratos restringidos, mostrarán la significación relativa de cada uno de ellos.

La calidad del agua en varios pozos artesianos es probablemente el mejor indicio del punto de origen. Un agua relativamente pura, libre de elementos salinos, sugiere que la fuente se encuentra en el desbordamiento de la precipitación o en algún abastecimiento a niveles profundos de las áreas de las vertientes hidráulicas circunvecinas. El agua con alto contenido de carbonato de calcio sugiere

un acuífero de piedra caliza. Algunas contaminaciones de elementos salinos pueden seguirse por muchas millas. Otros minerales, tales como el borón, se usan a menudo para clasificar o identificar las zonas artesianas y las fuentes de presión.

Se han perforado pozos, tanto para uso doméstico como de riegos, en muchos valles del Oeste, y no son raros los que tienen 50 años en muchas áreas de riego. Los pozos antiguos, especialmente los viejos pozos artesianos, a menudo son fuentes de aguas de filtración de un estrato a otro. La filtración entre estratos, común en muchos pozos viejos, causa pérdidas de agua en el pozo y puede producir la saturación de las tierras vecinas.

Los manantiales naturales y los resumideros pueden ser la causa del problema de desagüe. Un tipo común se origina en la base de los declives muy pronunciados, en donde ocurre una interrupción en la topografía que generalmente coincide con un cambio abrupto en las características de la tierra.

Ordinariamente ocurren a lo largo de la periferia del valle, y se caracterizan por un flujo perenne y aguas frescas y frías.

Otro tipo se debe a las fracturas o desplazamiento de las capas restrictivas de roca o arcilla que se encuentran sobre un acuífero artesiano. El agua de esas zonas artesianas se abre paso hasta la superficie en forma de manantial o resumidero, y, por lo tanto, una línea de manantiales puede ser indicio de una falla. A menudo esos manantiales son termales y pueden contener cantidades excesivas de elementos mineralizados. Hay una vieja afirmación que dice que puede calcularse el origen del agua que alimenta un manantial por la temperatura de la misma. Mientras más profundo sea el origen, el agua será más caliente. Es cierto que los manantiales provenientes de fallas profundas ordinariamente son calientes, mientras que los poco profundos que se originan en las filtraciones de los salientes de los mantos de roca son fríos. Los manantiales y resumideros son importantes porque indican las características naturales del problema al precisar dónde ocurren los brotes naturales de agua, señalando así las fuentes conocidas.

Es MUY IMPORTANTE LA CALIDAD inherente del agua del suelo en el área que va a desaguarse, y deben hacerse pruebas de las características y cantidad de elementos minerales presentes en la tierra y en el agua.

Un problema de desagüe cae ordinariamente dentro de cualquiera de tres tipos: Desagüe de aguas "dulces" del área en donde existe el problema; desagüe de aguas saladas o alcalinas y remoción por medio del lavado de las excesivas concentraciones de elementos minerales en la tierra.

Cada tipo tiene una serie de condiciones diferentes. Es muy importante conocer la clase del agua del suelo antes de que pueda encontrarse una solución al problema. Por ejemplo, si el agua de la tierra no es salada, la solución al problema de drenaje es sólo cuestión de bajar la meseta de agua hasta un punto en donde no interfiera con la zona de raíces de las plantas. Además, existe cierta latitud en la fluctuación que puede permitirse en la meseta de agua. Si el agua del suelo es salada o alcalina, la meseta de agua debe bajarse hasta un punto que quede considerablemente abajo de la zona de raíces y mantenerse allí, a fin de que la evaporación y la transpiración no concentren los elementos en la zona de raíces. Si hay necesidad de lavar los elementos minerales perjudiciales, el problema de desagüe se hace más difícil, siendo necesario el desagüe de los excesos de agua de la tierra, así como la remoción del agua que se usó para lavar las sales. A menudo el lavado de los elementos alimenticios de las plantas constituye un problema cuando se proyectan sistemas de desagüe.

Es por esto que la topografía, las tierras, la concentración de elementos minerales, la meseta de agua, los orígenes del agua y su calidad, se convierten en la clave de las investigaciones de desagüe en las regiones de riego.

La inspección topográfica puede revelar una falta de salidas naturales para las aguas de desagüe o que el terreno no sea apropiado para la construcción de zanjas abiertas, excepto a un costo exce-

sivo. El tipo de topografía de cuenca se presta bien al desagüe por medio del bombeo. Independientemente de otros factores, los declives planos son apropiados para el sistema de rejilla. Las tierras muy bajas y pantanosas y los bancos sugieren el empleo de líneas de intercepción. Las cavidades que requieren desagüe generalmente se desaguan mejor con sumideros. La extensión y eficacia de los sistemas de canales existentes sugiere a menudo la mejor localización para las zanjas abiertas.

Las tierras influencian de muchos modos la elección de un sistema de desagüe. La serie de estratos permeables e impermeables en el área y la capacidad de las capas separadas para transmitir agua, determina grandemente tanto el tipo de sistema que deba instalarse como su diseño. Las zanjas abiertas a intervalos de una milla pueden ser adecuadas para desaguar áreas con subsuelos extremadamente porosos; pero una tierra relativamente pesada puede requerir líneas de tubería espaciadas a no más de 100 pies una de otra. La carencia de estratos desaguables en la zona de 4 a 8 pies puede hacer impracticable el desagüe con líneas de tubería.

La naturaleza y extensión de las concentraciones de elementos minerales perjudiciales influencia la elección y diseño del sistema que se use. Las áreas que requieren un lavado prolongado necesitan la instalación de desagües de tubo.

La altura, movimiento y tendencias cíclicas de la meseta de agua determinan o afectan la elección de las medidas de desagüe. Por ejemplo, las áreas de presión artesianas son extremadamente difíciles de desaguar con líneas de tubería y generalmente se necesitan bombas de alivio para corregir la presión de las profundidades. Las líneas de corriente de flujo indican los puntos en donde la filtración puede interceptarse con ventaja.

La inspección de los orígenes del agua indica la cantidad de ella para la que debe proyectarse el desagüe, así como la naturaleza de sus fuentes. Si las lluvias son factor en el problema de desagüe, son indispensables las zanjas abiertas para remover los sobrantes de agua del suelo. En los sitios secos del Oeste en donde las lluvias no son excesivas la solución puede radicar en el bombeo.

Las determinaciones de la calidad del agua son de importancia en áreas que carecen de suministros adecuados de ella. Por ejemplo, si el agua de desagüe es de buena calidad, puede planearse su utilización para riegos. Si puede hacerse que un sistema de desagüe produzca agua que pueda utilizarse en los sitios donde se necesita, el costo del desagüe puede disminuirse considerablemente o eliminarse casi por completo.

WILLIAM W. DONNAN *es técnico especialista encargado de las fases de ingeniería de las investigaciones sobre riegos y desagües de la Sección Occidental de Manejo de Tierras y Aguas del Departamento de Agricultura.*

GEORGE B. BRADSHAW *es ingeniero regional de desagües encargado de las obras de desagüe del Noroeste del Servicio de Conservación de Tierras.*

El desagüe en la conservación de los bosques en el Sur

E. A. Schlaudt.

EL DESAGÜE DE LOS BOSQUES de pinos es una nueva práctica en el Sudeste. En 1950 sólo se sabía que se desaguaba o proyectaba desaguarse una pequeña superficie, pero desde entonces se ha planeado o se ha llevado a cabo el desagüe aproximadamente en 750,000 acres de bosques húmedos. Prácticamente todas esas obras han sido efectuadas por los propietarios de plantíos comerciales o por las empresas productoras de pulpa de madera en el área plana de bosques a lo largo de las costas del Atlántico y del Pacífico. En la costa, desde el río James en Virginia hasta el río Pearl en Mississippí, se encuentran aproximadamente 20 millones de acres de tierras de bosques, y se calcula que aproximadamente el 80% de ese total está compuesto de tierras

húmedas. El 20% restante consiste de promontorios arenosos y bajos, pero relativamente secos, y los pinos ocupan la mayoría del área plana de bosques. Los árboles de maderas duras crecen en los lechos de los ríos y en los grandes pantanos.

Desde la época de los primeros pobladores, la producción de pinos ha sido relegada generalmente a los sitios con tierras menos favorables. Ahora, sin embargo, ha subido el valor comercial de la madera de pino y se están haciendo esfuerzos para estimular su crecimiento en las tierras húmedas. La tierra de la que los precursores se apresuraron a escapar perseguidos por los escalofríos y la fiebre, se ha vuelto importante para la producción de artículos de madera.

EL MANEJO PARA LA CONSERVACIÓN de los bosques de pino es el que permite el reemplazo y crecimiento, en proporción óptima para el sitio, de una buena especie de árboles que tengan acceso disponible para su protección y la recolección de la cosecha. Los productores de madera y de pulpa han encontrado que el costo de desaguar las tierras húmedas de bosques queda compensado al capacitarlos para llevar a cabo ese manejo de conservación, aun cuando no reciban ningún otro beneficio.

Al recolectar madera de pino de parte de una parcela de 3,000 acres, aproximadamente dos años después de haber establecido el desagüe, un propietario de Carolina del Sur informó haber obtenido un ingreso neto adicional de mil dólares al utilizar para pulpa las ramas gruesas, lo que se consideraba antieconómico antes del desagüe. La limpieza de los desechos de corteza, otro beneficio del desagüe, disminuye los riesgos de incendio.

El abastecimiento de los plantíos de pino, natural o artificialmente, con especies deseables, a menudo es el fin principal del desagüe. Aun las siembras abundantes de semilla han fracasado debido a que el mal desagüe superficial las arrastra, impidiendo que queden en contacto con la tierra. Los brotes no pueden sobrevivir si quedan sumergidos o si se escaldan durante la temporada de calor, y esto ocurre cuando el desagüe no es adecuado. En los estanques de cipreses del sur de Georgia no había brotes de pino antes del desagüe, pero dos años después de la remoción del exceso de agua superficial, el área estancada tenía nuevos brotes, proporcionalmente a la distancia de los árboles de semilla que había en sus orillas. Los brotes plantados en el estanque desaguado tuvieron prácticamente una supervivencia de 100%, y aunque las abundantes lluvias produjeron desbordamientos que cubrieron los brotes, el sistema de desagüe mantuvo el agua en movimiento haciendo que los brotes sólo quedaran sumergidos durante una semana, sin que sufrieran ningún daño.

Los resultados favorables obtenidos con el desagüe del agua superficial pueden verse ordinariamente en la resiembra y germinación que ocurre después de la primera caída de semilla. Cualquier demora, que no es probable que ocurra, puede deberse a la ausencia de árboles de semilla o a la densa cobertura del suelo que impide que la semilla llegue a la tierra mineral.

El desagüe hace posible también las recolecciones de madera sin necesidad de costosas demoras. Las operaciones madereras son difíciles en muchas áreas boscosas planas que no se han desaguado, y a veces deben posponerse debido a las lluvias. A menudo se necesita equipo especial debido a lo blando de la tierra o al exceso de agua en su superficie. Un maderero de South Carolina pudo volver a sus cortas en un bosque desaguado varios meses antes de lo que podía hacerlo cuando no había desagües, y pudo recolectar 1 millón de pies-tabla con equipo normal de camiones, ahorrándose 2 dólares por cada 1,000 pies-tabla sobre los costos de corta en bosques semejantes no desaguados.

En el Sur, donde los pertrechos navales son un importante producto de los bosques de pino, la remoción del agua superficial hace más fácil el tránsito en ellos para los encargados de cortar, arrancar y transportar.

SE NECESITAN CAMINOS DE ACCESO en todas las partes de los bosques para pro-

tección contra incendios y para las operaciones madereras. Si la localización de los canales primarios y secundarios de desagüe se ha planeado debidamente, los desechos de las excavaciones pueden utilizarse para el relleno y conformación de los caminos de acceso sólo con un ligero costo adicional.

Los caminos de desechos en tierras orgánicas deben revestirse con una superficie razonablemente gruesa de arcilla arenosa o materiales semejantes. Ese revestimiento tiende a retrasar la oxidación del relleno orgánico y, por lo tanto, prolonga la vida del camino. Un camino de acceso construido en turba de 8 pies de profundidad en el Pantano Triste, de Virginia, tiene más de 25 años, y sólo ha perdido una poca de su altura debido a la oxidación, habiéndose conformado con 12 pulgadas de arcilla arenosa.

La combinación de zanjas principales, mesetas y caminos de desechos crea también una eficaz barrera contra incendios.

LAS OBSERVACIONES INDICAN, sin que se haya comprobado, que el desagüe beneficia la proporción de crecimiento de ciertas especies de pino. La altura de los árboles dominantes, ordinariamente después de 50 años, se considera como escala o "clase del sitio" por medio de la cual se mide la productividad de éste. Los madereros de la zona de pinos de hondonadas dicen que algunos plantíos han reaccionado a los desagües duplicando su producción en comparación con los plantíos de los sitios no desaguados. Las observaciones han demostrado también que una clase de sitio de 80 ha producido solamente pinos de hondonada de crecimiento reducido de 6 pulgadas de diámetro después de 40 años, debido, aparentemente, a los malos desagües.

Los investigadores de la Escuela Forestal del Colegio del Estado de North Carolina han hecho estudios detallados de la influencia del desagüe en dos plantaciones de pinos Loblolly en las orillas del Bosque Hofmann, en el Condado de Onslow.

Las dos plantaciones están separadas por el derecho de vía de la Carretera número 17 y de un ferrocarril. Hay una profunda zanja de desagüe a lo largo de la línea occidental del derecho de vía. La superficie desaguada de la plantación de ese lado queda influenciada por el desagüe, mientras que en el lado oriental no hay desagüe ni hay conexión disponible para suministrar un desagüe superficial dentro del desagüe occidental a través de los derechos de vía combinados. Por lo tanto, la plantación oriental está mal desaguada, aunque sólo queda a



una distancia de 300 pies del desagüe occidental.

Los árboles de la plantación adyacente al desagüe occidental alcanzaron una altura de 47 pies después de 17 años. Los árboles que estaban a 780 pies del desagüe, pero que recibían algunos de sus beneficios, crecieron hasta 29 pies. Los del lado oriental, plantados un año más tarde y sin ningún beneficio de desagüe superficial, crecieron a una altura promedia de 16 pies en 16 años. El volumen descortezado del plantío más cercano al desagüe es casi 16 veces mayor que el del plantío mal desaguado. Ambas plantaciones se hicieron con un espaciamiento de 6 por 6 pies, y la oriental tuvo un recuento de supervivencia de 53.7%. La plantación occidental, mejor desaguada, tuvo aproximadamente un 75% de supervivencia.

LA FAUNA PUEDE BENEFICIARSE con el desagüe de los bosques. La remoción de las aguas superficiales de los bosques trae ordinariamente como consecuencia un

cambio en los tipos de vegetación de crecimiento bajo, y entre las plantas nativas que crecen en los plantíos forestales abiertos después del desagüe en el Sudeste, se encuentran algunas plantas productoras de semilla que son muy atractivas para las aves. Añádase a la cobertura forestal natural un suministro de alimentos, y las aves serán las beneficiarias directas del desagüe.

Las condiciones de salubridad de la comunidad se benefician también con el desagüe de las áreas forestales pantanosas. Muchos bosques de tierras planas forestales cuentan con gran número de estanques de cipreses, que generalmente tienen aguas superficiales en las que abundan los mosquitos. Los habitantes de las casas cercanas, escuelas y campos madereros se benefician físicamente con el desagüe de los estanques.

Los efectos adversos del desagüe probablemente son menores que sus beneficios. La objeción principal se refiere a la pérdida de agua causada por los sistemas de desagüe y su posible efecto en la meseta de agua. Como una área forestal plana y saturada de agua puede almacenar muy poca agua de las lluvias ordinarias tienen que ocurrir desbordamientos e inundaciones. Una área forestal bien desaguada, por otra parte, puede absorber una cantidad considerable de precipitación, disminuyéndose el desbordamiento y las inundaciones. Es difícil decir cuál de esas situaciones tendría mayor efecto en la meseta de agua, pero las ventajas económicas están en favor del dueño de bosques que ha desaguado sus tierras.

Un sistema de desagüe necesita una planeación cuidadosa. La localización de los desagües principales y laterales debe proporcionar el mejor desagüe de los bosques; hacer más favorables las condiciones para obtener el acceso necesario a las áreas interiores; dividir el bosque en áreas de tamaño conveniente para el control de incendios, y asegurar la excavación de tierras estables a fin de permitir la máxima capacidad de los canales para que funcionen por largo tiempo.

El tamaño del desagüe principal depende de la cantidad de agua que se va a remover. En las tierras planas y boscosas del Sudeste esa cantidad puede variar de 10 pies cúbicos por segundo, o sean tres octavos de pulgada en 24 horas por milla cuadrada, hasta 150 pies cúbicos por segundo, o sea un poco menos de un cuarto de pulgada en 24 horas en 25 millas cuadradas.

Ese bajo coeficiente resultaría en un canal pequeño si se le compara con otro que se haya diseñado para desaguar tierras cultivadas, porque este último debe remover el agua más rápidamente. Si van a usarse los desechos para caminos de acceso, la excavación puede ser demasiado ligera para proporcionar un relleno satisfactorio para los caminos, y entonces debe excavarse una zanja más grande para obtener las cantidades requeridas de relleno, resultando naturalmente en mayor capacidad del canal a fin de obtener mayor grado de desagüe.

La forma del canal principal depende de la clase de tierra, clase de prácticas de mantenimiento que vayan a usarse y la profundidad general del canal que se planee.

En las tierras minerales más estables, así como en las tierras orgánicas, los declives laterales de las zanjas profundas pueden ser casi verticales. En tierras más ligeras los declives laterales deben ser de 1 a 1 ó de 1 a 1.5, y tan profundos como puedan hacerse razonablemente, debiendo ser la norma un mínimo de 4 pies. El ancho del fondo debe ser tan pequeño como lo permitan los requerimientos de capacidad y desperdicio. Es importante obtener una alta velocidad con flujo bajo para la operación y mantenimiento del canal.

Esas secciones necesitarán mantenimiento a mano, por medio de aspersiones químicas o con dragas de cable. Los conservadores de bosques del Sudeste, generalmente no hacen disposiciones para cualquier mantenimiento especial, sino que planean canales angostos y profundos que pueden cambiarse de forma con una draga de cable cuando sea necesario el mantenimiento. Ese plan de funciona-

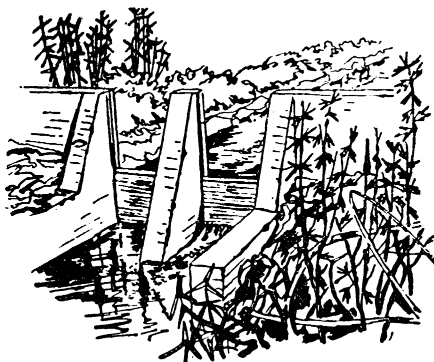
miento puede ser el más económico, porque los requerimientos de desagüe son menos exactos que los de las tierras cultivadas.

ES NECESARIO EL DESAGÜE LATERAL a fin de que puedan funcionar los canales principales. El agua no se moverá en una capa poco profunda hacia un canal principal a través de tierras planas cubiertas de densa vegetación o de desechos, y, por lo tanto, se emplean canales de acumulación pequeños y poco profundos, que necesitan proyectarse por lo que hace a localización o capacidad, pero que deben ser de sección uniforme y razonablemente fáciles de localizar por un operador experto de maquinaria, a medida que se construyen. Se emplean para ese objeto algunos tipos de arados de disco diseñados primordialmente para la apertura de barreras contra incendio, que pueden hacer desagües satisfactorios en tierras que sean lo suficientemente firmes para permitir el funcionamiento de un tractor. La zanja abierta con un arado de incendios puede errar a través de los bosques, requiere un mínimo de claros y no interfiere considerablemente con los plantíos ya establecidos.

EL DESAGÜE POCO PROFUNDO se diseña para dirigir el flujo hacia un canal principal o lateral. Cuando las tierras se vuelven tan inestables que no pueden permitir el funcionamiento de un tractor, resultarán convenientes las zanjas más profundas, abiertas con una draga de cable. Probablemente no remuevan el agua superficial tan rápidamente como las más pequeñas espaciadas a distancias menores; pero si se espacían hasta un cuarto de milla de distancia, proporcionan desagües satisfactorios en tierras ligeras y pantanosas.

Se usan entradas de tubo cuando tiene que descargarse un volumen considerable de agua superficial en el canal, evitándose con ellas la erosión y que los canales se llenen de sedimentos. Si se construyen caminos en los bordos, esos tubos funcionarán como alcantarillas, extendiéndose más allá del bordo de la zanja a fin de evitar la erosión del mismo.

Los pasos para los camiones se construyen generalmente con tubos y rellenos de tierra, con muros laterales adecuados si son necesarios. Son económicos en su instalación y mantenimiento; pero independientemente de lo bien que se construyan, forman un obstáculo mayor al flujo del agua en la zanja que los cruces con puentes de tramos abiertos, que ofrecen



menos interferencia al flujo del agua y que causan, por lo tanto, menos turbulencia y frotamiento en los bordos y fondos de las zanjas. Si se usan alcantarillas, se recomienda el tubo de sección de arco.

Las estructuras para el control de los niveles de agua en las zanjas profundas, diseñadas para funcionamiento manual, deben construirse de modo que no queden en peligro con una repentina creciente del agua cuando el control manual no queda inmediatamente accesible.

La estructura de tipo de represa de tablones es probablemente la que mejor se adapta para este fin. Su diseño debe proporcionar un amplio espacio de vertedero sobre los tablones cuando se encuentran en posición a su nivel más alto. Se han construido de concreto reforzado, con bloques prefabricados de concreto, usando varillas de acero como refuerzo y rellenos de concreto en los huecos de los bloques, así como con columnas reforzadas de acero de sección de H. Todas son satisfactorias si se construyen debidamente.

CUANDO LAS TIERRAS ORGÁNICAS se usan para la producción de madera, ordinariamente requieren el control del agua

en vez de un desagüe por gravedad sin control alguno. El control del agua significa que se permite que el exceso de agua se desagüe a medida que es necesario, y que los residuos de agua de la tierra no se desperdician con desagües abiertos de gravedad, sino que se detienen en las estructuras.

Generalmente es necesario "secar" temporalmente las tierras orgánicas a fin de poder emplear prácticas conservadoras de manejo. Este procedimiento es peligroso, ya que la excesiva remoción del agua puede producir la combustión de la tierra por el fuego y la oxidación.

Una vez iniciados, los incendios en tierras secas orgánicas pueden destruirlas juntamente con los árboles que crezcan en ellas y son sumamente difíciles de extinguir. Para que esos incendios puedan controlarse se necesita una meseta de agua establecida para un periodo lo suficientemente prolongado para que se saturen todas las partículas de tierra y también lo suficientemente alta para extinguir el incendio superficial.

La oxidación de la tierra, tan destructora como el fuego, es más gradual en sus efectos. No destruye la vegetación en crecimiento y, por lo tanto, puede pasar inadvertida hasta que han ocurrido grandes pérdidas. Los perfiles secos de tierras orgánicas han sufrido pérdidas de altura, medidas durante un largo periodo de años, que llegan hasta una pulgada anual. En una generación puede ocurrir una pérdida de 2 a 3 pies en el espesor de la tierra.

SE HAN HECHO PLANES PARA DESAGUAR las áreas de tierras orgánicas en North Carolina para el cultivo de los pinos. Una de esas áreas, aproximadamente de 150,000 acres, tiene alturas superficiales que varían desde el nivel del mar hasta unos cuantos pies sobre el mismo. Con desagües de gravedad sin control alguno esa área puede perder altura rápidamente, debido a la oxidación, y será inapropiada para el cultivo de pinos o cualquiera otra cosecha, a menos que se bombeen los excesos de agua.

Aproximadamente 1.750,000 acres de tierras orgánicas en Virginia, North Carolina, Georgia y Florida, pueden clasificarse como tierras pantanosas de bosques, aunque no todas ellas se desagüen para la producción de madera.

El desagüe se inició en un bloque de 45,000 acres, en Virginia, en 1954. Se instalaron estructuras de control de concreto o de madera en todos los canales principales, para permitir que los excesos de agua fluyan hacia afuera, o cuando se cerraban, para retener el agua en los pantanos. Por lo tanto, la meseta de agua puede bajarse en áreas abiertas para su abastecimiento, sin necesidad de esperar a la estación de sequía, teniendo acceso todas las secciones por medio de caminos de desechos.

E. A. SCHLAUDT *es ingeniero de campo del Servicio de Conservación de Tierras, habiéndose graduado como ingeniero civil en la Universidad de Texas.*

El desagüe en el valle del río Rojo en el Norte

Walter W. Augustadt.

EL VALLE DEL RÍO ROJO DEL NORTE, el lecho del antiguo glacial Agassiz, es una cuenca rica desde el punto de vista agrícola, aunque mal desaguada. Está sujeta a inundaciones periódicas por el rápido deshielo de las nieves, las fuertes tempestades y las prolongadas estaciones de lluvias ocasionales. El terreno es plano y el desagüe natural es insuficiente. Las barreras construidas por el hombre, tales como los caminos y carreteras, frecuentemente retrasan el desagüe natural, y un buen desagüe sería de incalculables beneficios para el país y para los habitantes de las ciudades.

El río Rojo del Norte, el principal canal de desagüe de la cuenca y de las tierras altas circunvecinas, constituye el lindero entre North Dakota y Minnesota. El río en sí está formado por la confluencia en Wahpeton, North Dakota, y Breckenridge, Minnesota, del río Otter Tail, que constituye la salida de una serie de lagos cercanos a Detroit Lakes, Min-

nesota, y el río Bois de Sioux, que sale del lago Traverse en South Dakota y fluye casi en dirección Norte en toda su extensión.

En su jornada hacia el Norte hasta el lago Winnipeg, en Canadá, el río sigue un curso ondulante de más de 450 millas a través de la parte central de una extensa llanura casi plana. Esa planicie tiene 20 millas de ancho en su extremo sur y más de 50 milas en la frontera internacional, con una longitud de 300 millas. El río desagua una área de vertientes de 35,895 milas cuadradas en el área continental de los Estados Unidos de Norteamérica, y 20 corrientes tributarias mayores o menores desembocan en el río entre Wahpeton y la frontera internacional.

La topografía de la vertiente hidráulica tiene características físicas que afectan de modo significativo los problemas de inundación y de desagüe.

El declive del valle, de Sur a Norte, es muy ligero y es menor hacia el Norte. Los promedios de altura sobre el nivel del mar en varios sitios a lo largo del río precisan las variaciones de declive. La altura del lago Traverse es de 980 pies; en Wahpeton y Breckenridge es de 963 pies; en Fargo, North Dakota, y Moorhead, Minnesota, 900 pies; en Grand Forks, North Dakota y East Grand Forks, Minnesota, es de 830 pies, en la frontera internacional es de 789 pies, y en el Lago Winnipeg, 60 millas al Norte de la frontera, es de 755 pies.

Por lo tanto, el río sólo cae 225 pies en 450 millas, o sea un promedio de medio pie por milla. El fondo del valle tiene el mismo declive total; pero la proporción promedia es de tres cuartos de pie por milla, porque la distancia en línea recta es de 300 millas.

Sin embargo, la pendiente de la parte occidental del fondo del valle no es uniforme y varía de dirección de Sur y Este a Este y Norte, teniendo el área mayor un declive superficial hacia el Nordeste. Una faja de tierra de 4 a 5 millas de ancho, paralela al río, es la más baja y plana en todo el valle. Desde ella el fondo del valle comienza a ascender lentamente al principio en ambos lados del río, a razón de 1 a 3 pies por milla. Ese gradiente aumenta entonces rápidamente a medida que se llega al límite oriental y occidental del valle, después de lo cual no es raro encontrar elevaciones de 15 a 20 pies por milla.

El aspecto superficial comienza a cambiar rápidamente desde tierras planas, y casi niveladas, a otras altas y ondulantes al Este y Oeste de la planicie. Donde la parte central del valle varía de altura desde 980 pies en el extremo Sur hasta 789 pies en el extremo Norte, las alturas de las tierras altas varían de 1,200 a 2,000 pies sobre el nivel del mar. En la mayoría de los sitios el ancho del área que desagua en el río Rojo excede de la mitad de la longitud de la cuenca de desagüe.

Toda la vertiente hidráulica quedó cubierta por un glaciar continental durante el periodo glacial. Ese glaciar tuvo marcado efecto en la topografía y se extendió hacia el Sur hasta Nebraska. Cuando el hielo comenzó a fundirse, el glaciar retrocedió hacia el Norte, y el agua del hielo en fusión fluyó hacia el Sur hasta que la orilla de la capa de hielo había retrocedido hasta el extremo Sur de lo que es ahora el lago Traverse. Desde allí el valle se inclinó hacia el Norte, y el agua del hielo en fusión quedó atrapada entre las tierras altas circunvecinas y el hielo que bloqueaba la salida hacia el Norte. El agua atrapada formó un lago enorme, llamado ahora lago Agassiz. A medida que el glaciar retrocedió hacia el Norte depositó arcilla, arena, grava y piedras a una profundidad de 3,000 pies sobre la cuenca. Las corrientes tributarias que desaguaban en el lago depositaron sedimentos en su fondo hasta una profundidad de 20 a 50 pies, cubriendo el deslizamiento glacial en muchos sitios. Cuando el retroceso glacial había llegado suficientemente hacia el Norte, el lago se vació en la Bahía de Hudson, y todavía pueden localizarse varias etapas de los niveles del lago siguiendo los promontorios de la playa dejados por el retroceso de las aguas.

Probablemente el hielo bloqueó temporalmente muchas de las corrientes que descargaban en el lago desde las tierras altas del Este y el Oeste, impidiendo su

entrada directa. Entonces esas corrientes se vieron forzadas a fluir hacia el Sur a lo largo de la orilla del glaciar, hasta que pudieron penetrar al lago alrededor de su orilla en retroceso. Esto podría explicar el hecho de que muchas de las corrientes tributarias fluyen hacia el Sur por grandes distancias antes de entrar al valle, después de lo cual cambian de dirección. Otras corrientes, probablemente de origen posterior, entraron directamente al valle.

En términos geológicos, la erosión del valle es relativamente reciente si se le compara con las de las tierras altas. Las corrientes de esas tierras habían descargado en el lago durante un largo periodo de tiempo y habían excavado profundos canales. Cuando se vació el lago, esto se hizo en forma relativamente rápida, quedando las corrientes sin canales bien definidos a través del fondo del lago. Muchas de ellas, después de entrar al valle, se perdieron y difundieron en las extensas tierras planas, como resultado de ello no se ha establecido un patrón natural de desagüe bien definido. Los bordos de esos angostos corredores y corrientes, después de que entran al valle generalmente son más altos que las tierras circunvecinas, porque se depositó sedimento en ellos cuando la corriente se hizo más lenta durante los repetidos desbordamientos.

Hay grandes zonas del valle que están tan niveladas que el flujo de agua se rige más bien por las barreras artificiales que por las naturales. Muchas veces los caminos elevados, que se han construido así para evitar que se bloqueen con la nieve en invierno, desvían el agua de una zona a otra, y otras actúan como diques que detienen el agua.

Otras grandes porciones del valle tienen un sistema fracturado de promontorios bajos que se entrecruzan y que son probablemente promontorios de tundra causados durante las condiciones perennes de tierra congelada. Esos promontorios hacen que el agua se estanque en depresiones poco profundas, que constituyen un problema para el desagüe individual de las granjas, que es probablemente más difícil de resolver que la simple construcción de los canales principales de desagüe. En algunas épocas todo el fondo del valle puede haber estado cubierto con esos promontorios, y en las áreas adyacentes a las corrientes, las depresiones han desaparecido parcialmente a causa del sedimento depositado en ellas cuando se desbordaban las corrientes.

La irregularidad de las condicionees climatológicas en el transcurso de los años ha agravado el problema de desagüe. Durante los largos periodos de sequía no hay necesidad de desagüe, y aquellos que desearían prepararse contra las repetidas inundaciones pueden carecer de fondos. Cuando las inundaciones vuelven, aumenta el interés y las actividades de desagüe; pero ya ocurrieron daños considerables que podrían haberse evitado si se hubieran tomado las medidas adecuadas con anterioridad.

El promedio de precipitación anual en el valle es aproximadamente de 21 pulgadas, y alrededor del 75% de ellas ocurre entre abril y octubre. El periodo normal exento de heladas es aproximadamente de 115 días, y el clima tiene que clasificarse como subhúmedo, aunque ha habido considerables periodos tanto de humedad como de sequía. Los registros meteorológicos parecen indicar una tendencia decidida a ciclos de humedad y de sequía. En los primeros 17 años de los registros meteorológicos, de 1861 a 1877, el promedio anual de precipitación fue de 24.50 pulgadas. Durante los siguientes 24 años, de 1917 a 1940, el promedio de precipitación bajó a 17.80 pulgadas, y de 1941 a 1954 ha habido indicaciones de que está ocurriendo otro ciclo de humedad. El promedio de precipitación en los primeros 4 años de ese periodo fue de 24.50 pulgadas, y en 1944 llegó hasta 30 pulgadas.

Sin embargo, los promedios no presentan un cuadro de los extremos del clima. En ciclos húmedos ocurrieron años excesivamente secos y en los de sequía hubo años excesivamente húmedos. La precipitación fue menor de 13 pulgadas en 1910, y, sin eembargo, el periodo de 1878 a 1910 fue relativamente húmedo y en 3 ocasiones la precipitación excedió de 30 pulgadas. Ocurrieron años relativa-

mente húmedos en el periodo de sequía de 24 años comprendido de 1917 hasta 1940, pero la precipitación no excedió de 24 pulgadas en ningún año durante ese periodo. En el periodo extremadamente seco de 1929 a 1940, el promedio de precipitación fue de 15.50 pulgadas, y en 1936 solamente de 8.90 pulgadas.

LOS DAÑOS CAUSADOS POR LAS INUNDACIONES han sido serios en los periodos húmedos. (Las solicitudes de auxilio durante los periodos de inundaciones daban ordinariamente por resultado la preparación de informes y la sugerencia de soluciones que se olvidaban durante las épocas de sequía.) Las características topográficas de la vertiente hidráulica, juntamente con un incipiente sistema de desagüe natural en todo el fondo del lago, hicieron casi inevitable que éste quedara sujeto a costosas inundaciones durante los periodos de abundantes lluvias.

En 1882 y 1883 ocurrieron inundaciones graves. El valle se inundó de nuevo en 1893, y en 1897 ocurrió una de las peores inundaciones que se hayan registrado. Hubo también inundaciones en los años de 1904, 1916 y 1920. En tonces, después de 22 años de verse libre de inundaciones, ocurrieron en el valle algunas de las peores en su historia. Las inundaciones de 1943, 1944, 1948 y 1950, y las secundarias locales de 1952 y 1953, causaron pérdidas anuales de muchos millones de dólares.

Las pérdidas de 1943 y 1944 fueron tan serias que la Comisión de Conservación de Aguas del Estado de North Dakota solicitó del Departamento de Agricultura que hiciera una inspección de los daños causados a la agricultura. Los técnicos en estadística calcularon que en 1943 habían sufrido daños 643,000 acres comprendidos en 6 condados en el lado del río de North Dakota, y que las pérdidas llegaban a 10.852,000 dólares. En 1944 calcularon que se habían dañado 1.026,000 acres comprendidos en 10 condados de la vertiente del lado de North Dakota, y fijaron las pérdidas en 13.565,000 dólares.

Las pérdidas en 1943 y 1944 fueron mayores de 23 millones de dólares en North Dakota, y las de Minnesota fueron probablemente iguales. Desde 1943 hasta 1953, un cálculo conservador de los daños a la agricultura debidos a las inundaciones, excedía de 60 millones de dólares en la parte del valle que se encuentra al sur de la frontera internacional. Los daños municipales han sido también considerables, tanto en los Estados Unidos de Norteamérica como en el Canadá.

Los repetidos y extensos periodos de sequía y la falta de financiamiento durante los mismos, impidió el establecimiento de un sistema adecuado de desagüe y prevención de inundaciones. Durante los periodos de lluvia se hacían solicitudes de ayuda por individuos y grupos, municipalidades, condados y legislaturas, y se preparaban programas e informes. Luego volvían a reaparecer los periodos de sequía, acompañados de escasas entradas a granjas. En esa forma el problema se invertía, y en vez de ser necesaria la remoción del agua de la tierra, había que tratar de obtener agua para la misma, olvidándose el problema de desagüe hasta que ocurría otra inversión y se repetía el proceso.

En 1905 se solicitó del Departamento de Agricultura que ayudara con inspecciones, programas e informes que sirvieran de guía para la construcción de zanjas de desagüe. John T. Etewart, del mismo Departamento, con la colaboración del ingeniero estatal de North Dakota y la ayuda financiera de los condados, llevó a cabo la inspección de 5 de ellos en North Dakota, y se prepararon mapas topográficos que mostraban la localización propuesta para las zanjas, especificándose en su informe el tamaño, forma y longitud de las zanjas y haciéndose un cálculo del costo de las obras que habría que efectuar.

Algunos de los desagües mayores se construyeron entre 1907 y 1916, pero el progreso fue muy lento debido a la interferencia de los años de sequía y de la falta de interés. En 1922, P. T. Simons y Forrest V. King publicaron el Boletín número 1017 del Departamento, titulado *Informe de los Desagües y Prevención de Inundaciones en el Valle del Río Rojo del Norte.*

Herbert A. Hard, ingeniero en jefe de la Comisión de Control de Inundaciones de North Dakota, preparó en 1922 un informe administrativo en que detallaba los proyectos que debían llevarse a cabo, y dijo: "Ahora todo depende de que los hombres de negocios y los agricultores decidan lo que harán con esos planes. ¿Harán a un lado el problema por otros 30 años y sufrirán pérdidas que llegan a millones de dólares?"

La pregunta de Herbert A. Hard casi pudo contestarse afirmativamente. A principios de 1920 cesaron prácticamente todas las actividades de desagüe, y al periodo de 1929 a 1940 se le conoce actualmente como la sequía de la década de 1930.

El mantenimiento de las vías de desagüe existentes habría evitado pérdidas considerables. La erosión del viento, que acompaña a la sequía, obstruyó con tierra muchos de los canales naturales y desagües ya existentes, y casi no había desbordamiento. Se descuidaron los desagües que no se usaban durante las sequías. Las hierbas, los arbustos y los árboles que quedaban bien establecidos, acabaron de obstruir los canales y ayudaron a retener la tierra transportada por las aguas y los vientos. Se construyeron caminos dando poca o ninguna atención a los desagües, y a menudo no se tomaron disposiciones para el paso del agua de un lado al otro de ellos, y en ocasiones las estructuras eran demasiado pequeñas para manejar las aguas de un ciclo húmedo. Las zanjas de los caminos descargaban sin tener una salida adecuada, y a veces los agricultores rellenaban las zanjas para facilitar sus operaciones de labranza, llegando a hacer solicitudes para que el Cuerpo de Conservación Civil construyera represas en las zanjas con la idea de que podrían aliviarse las condiciones de sequía.

Veintidós años sin inundaciones fueron un periodo de tiempo suficientemente prolongado para que una generación joven se encargara de gran parte de las operaciones de labranza. Muchos nuevos residentes llegaron al valle antes de la sequía y durante ella, y muchos de ellos creyeron que los desagües constituían un desperdicio de dinero y que no eran necesarios para la economía de la zona, y los antiguos residentes comenzaron a creer que probablemente tenían razón.

Esa era la situación cuando las lluvias volvieron nuevamente.

La demanda pública de acción inmediata a consecuencia de las graves pérdidas sufridas con las inundaciones de 1942 y 1943, hicieron que el Departamento de Agricultura autorizara al Servicio de Conservación de Tierras para organizar sus operaciones y proporcionar ayuda técnica para la planeación y supervisión de la construcción de sistemas de desagüe en el Valle del Río Rojo. La demanda de producción agrícola y los altos precios de los productos de las granjas, hicieron evidente la necesidad de los desagües para la economía agrícola de una gran parte del valle.

Como se consideró conveniente la ayuda unificada, el primer paso consistió en la constitución de distritos de conservación de tierras. Esos distritos, que son subdivisiones legales del estado, tienen plena autorización de la legislación estatal para "controlar inundaciones, impedir la erosión de la tierra, preservar la fauna, proteger la base de impuestos, proteger las tierras de propiedad pública y privada, y promover la salubridad, seguridad y bienestar general de los habitantes de esos distritos".

Se organizaron 14 distritos en los 6 condados del valle en North Dakota, y otros 4 se organizaron en los condados del valle en Minnesota. Después que esos distritos se organizaron, se asignaron técnicos a cada uno de ellos, y todas las actividades se coordinaron por medio de conservadores de zona.

El primer paso consistió en la delimitación dc áreas de desagüe y en el establecimiento de un sistema de desagüe para toda la cuenca. El trabajo consistió en la construcción de nuevos desagües principales y laterales, la rehabilitación de los ya existentes y el establecimiento de desagües de granja en las granjas individuales. Los mapas topográficos preparados 35 años antes por John

T. Stewart para los 5 condados de North Dakota, fueron de gran valor para la planeación de un sistema completo.

Se hizo que un ingeniero estableciera normas de diseño a fin de proporcionar sistemas de desagüe técnicamente correctos. La capacidad de las zanjas para el desagüe de las tierras de granja se determina por el volumen de agua que deben remover antes que se dañen las cosechas y las tierras. Ese volumen se expresa ordinariamente en pies cúbicos por segundo por acre, y se le llama coeficiente de desagüe. Ese coeficiente es mayor en las áreas pequeñas que en las grandes y en la parte superior de una cuenca de desagüe que en la inferior, variando también con la topografía y características físicas. Generalmente se determina comparando las condiciones existentes en áreas que han sido desaguadas con éxito, con las de las áreas en las que se desea establecer una unidad. En seguida se hacen experimentos y estudios que permiten obtener valores que dan una protección razonable a un costo económicamente justificable.

Algunos de los desagües originales se construyeron utilizando los coeficientes propuestos por John T. Stewart, que se habían calculado para la remoción en 24 horas de un cuarto de pulgada de profundidad de agua para una superficie de desagüe de 25 millas cuadradas, aumentándose en áreas más pequeñas a media pulgada por 4 millas cuadradas, y disminuyéndose a tres dieciseisavos de pulgada en 200 millas cuadradas. Un estudio del área de desagüe cubierta por los mismos indicó que si esos desagües se hubieran conservado en debida forma, habrían proporcionado una protección razonable contra las inundaciones. Esta conclusión llevó a la decisión de seguir adelante con la planeación, utilizando los coeficientes propuestos hasta que pudiera hacerse otra evaluación posterior.

La inundación de 1948, causada por la rápida fusión de un gran manto de nieve, dio una buena oportunidad para estudiar la eficacia de los desagües construidos recientemente o rehabilitados. Ese estudio indicó que en algunos casos se necesitaban zanjas de mayor capacidad, y la mayoría de las que se han construido desde entonces han sido diseñadas de acuerdo con coeficientes que permiten una remoción más rápida del agua.

Las normas de diseño exigen una profundidad de flujo mínima de 4 pies en etapas de diseño, a excepción de que esa profundidad puede disminuirse a 3 pies en la parte superior, cuando la misma pueda proporcionar un desagüe adecuado de las tierras adyacentes. El ancho mínimo del fondo se fijó en 4 pies y se especificó que los declives laterales no tendrían una pendiente mayor de 2 pies horizontalmente a un pie verticalmente, aunque se considera que 3 a 1 ó 4 a 1 es más conveniente. Se diseñaron las zanjas con una velocidad no erosiva de menos de 3 pies por segundo, y los bordos de desechos se nivelan para que queden lo suficientemente planos para permitir que se lleven a cabo las operaciones de labranza a unos cuantos pies de la orilla del desagüe.

LA REVISIÓN DE LAS LEYES relativas a desagües por la legislatura de North Dakota facilitó grandemente el programa, ya que muy pronto se hizo evidente que las leyes existentes eran inadecuadas. Para la reconstrucción de los desagües antiguos las leyes limitaban las inversiones en cada uno de ellos a 100 dólares, excepto cuando el 60% de los solicitantes individuales pedían al condado que se encargara del trabajo. Con esas leyes no era posible llevar a cabo operaciones adecuadas de mantenimiento, ya que es difícil y toma mucho tiempo obtener las firmas del 60% de los terratenientes afectados, y una inversión de 100 dólares es de poco valor para la rehabilitación de un sistema de desagüe.

Las leyes se reformaron, y actualmente es obligación inapelable de los comisionados del condado el mantener los desagües funcionando y en buen estado de conservación. El costo de mantenimiento se distribuye y cobra en la misma forma empleada en la construcción original, y de acuerdo con la ley, la contribución en cualquier año no debe exceder de un máximo de 50 centavos por acre en las tierras de los distritos de desagüe.

Los comisionados del condado pueden

acumular un fondo para tal objeto, pero ese fondo no debe exceder de la contribución máxima permitida en cualquier año. La junta del condado debe conceder las obras a los contratistas responsables que ofrezcan precios más bajos. Las leyes se reformaron también para permitir que los comisionados de los condados celebraran contratos con los supervisores de los distritos de conservación de tierras, si en opinión de los primeros el trabajo podía hacerse más económicamente con equipo que manejaran los segundos. La ley disponía también que si los fondos acumulados por amillaramiento no son suficientes para financiar las obras proyectadas, a petición de los dueños de propiedades responsables del 10% del costo de la obra, los comisionados de los condados tienen que celebrar una asamblea. Si los dueños de propiedades que sean responsables del 51% del costo convienen en el proyecto, se autoriza a los comisionados para que los lleven a cabo.

En 1949 la legislatura de North Dakota reformó también la ley de derechos de voto o facultades de los terratenientes para establecer un nuevo desagüe. De acuerdo con la antigua ley, los terratenientes tenían iguales facultades de voto independientemente del monto de su responsabilidad en el amillaramiento. La nueva ley establece una relación apropiada entre el monto de la responsabilidad por amillaramiento y la facultad de objetar el establecimento del desagüe. La voz o voto de un terrateniente afectado se obtiene en la siguiente forma: Cada terrateniente tiene por lo menos un voto o voz, y, además, tiene un voto o voz adicional por cada 100 dólares o fracción principal de esa cantidad por el amillaramiento que sufra su propiedad de acuerdo con la junta de desagüe.

Estos y otros cambios facilitaron la ejecución del programa.

La ayuda financiera del estado de North Dakota contribuyó también a ello. Reconociendo que era necesaria la construcción inmediata de obras de desagüe para que las tierras del valle alcanzaran su potencial agrícola, la legislatura destinó fondos para acelerar la construcción de nuevos desagües y la reconstrucción de los ya existentes. Los fondos se destinaron por periodos, como sigue: 1943-1945, 50,000 dólares; 1945-1947, 240,000 dólares; 1947-1949, 200,000 dólares; 1949-1951, 150,000 dólares; 1951-1953, 90,000 dólares, y 1953, 1957, 140,000 dólares.

Los fondos quedaron a disposición de los distritos legales de desagüe bajo la base de 60% a 40%. Después de que el ingeniero en jefe de la Comisión Estatal de Conservación de Aguas aprobaba los planos, el estado distribuía el 40% del costo del proyecto entre los distritos de desagüe. Esta ayuda financiera hizo posible la construcción y terminación de los proyectos. De los 810,000 dólares que se destinaron para ello, se habían gastado o comprometido 752,450 dólares en 1954, y el sobrante se conservaba como reserva para necesidades especiales o emergencias.

El Departamento de Agricultura reconoció que no podían llevarse a cabo buenas prácticas de conservación en tierras que estaban sujetas a inundaciones periódicas, y por medio de pagos de estabilización agrícola proporcionó fondos para usarse en la construcción de sistemas de desagüe de granjas.

La cantidad de las obras que había que construir en North Dakota como lo propuso John T. Stewart en 1906, exigía la construcción de 1,820 millas de desagües principales y laterales. Stewart calculó que su construcción costaría 3.048,342 dólares, y que beneficiaría a 1.480,260 acres. No se hicieron cálculos para el condado de Richland, que si se hubiera incluido habría necesitado la construcción de más de 2,000 millas de desagües principales y laterales, beneficiándose más de 1.75 millones de acres. Tampoco se hicieron cálculos del monto de los desagües individuales de granjas que serían necesarios.

Hasta 1944 se habían construido 697 millas de desagües, habiéndose efectuado la mayor parte de ellas antes de 1920, y prácticamente no se habían hecho trabajos de mantenimiento. Todos los desagües tuvieron que inspeccionarse y diseñarse

para su reconstrucción, y se diseñaron, establecieron y construyeron también nuevos desagües.

La forma de manejar los planos y contratos dio por resultado una acción muy rápida. El Servicio de Conservación de Tierras suministró ingenieros a los distritos para que hicieran inspecciones, prepararan planos y supervisaran la construcción. Después de llenar los requisitos legales para el establecimiento de un nuevo desagüe o la reconstrucción de otro ya existente, los planos se sometían a la aprobación de la Comisión Estatal de Conservación de Aguas, y cuando se aprobaban, se celebraban contratos por la junta de desagüe o los comisionados de los condados. El estado estableció un fondo aproximadamente igual al 40% del costo de construcción, y a medida que éste adelantaba se preparaban comprobantes por la junta de desagüe o por los comisionados, que se cubrían con ese fondo. El 60% restante del costo se obtenía por amillaramiento de las tierras beneficiadas, en proporción al monto de los beneficios recibidos, que se establecían por 'a junta de desagüe en asambleas que se celebraban con ese objeto.

Durante los primeros años que el programa estuvo en vigor, el trabajo efectuado en los desagües principales excedió considerablemente al efectuado en los desagües individuales de granja. Esto fue natural, porque primeramente era indispensable construir un sistema de salidas. Además, los terratenientes que no estaban familiarizados con los problemas relativos a desagües, creían generalmente que todo lo que se necesitaba era un sistema de desagües principales. Sin embargo, a medida que avanzó el programa el volumen de trabajo de los desagües de granja comenzó a sobrepasar el efectuado en los desagües principales, y muchos agricultores invirtieron 2,000 ó 3,000 dólares en una cuarta parte de sección para tener un sistema de desagüe adecuado. El volumen de trabajo que hay que hacer en esta fase del programa de desagüe excede considerablemente al trabajo que requieren los desagües principales y laterales. Como las operaciones de labranza se efectúan con maquinaria pesada y a través de las zanjas, los desagües de granja se construyen con declives laterales muy planos y fondos muy anchos. La mayoría de las zanjas tiene un fondo de 8 pies de ancho, y los declives laterales son de 8 pies horizontalmente y 1 pie verticalmente.

Los contratos celebrados durante los años de guerra fueron muy costosos, porque muchos contratistas estaban trabajando en las plantas para la defensa y había muy poca maquinaria de construcción disponible. El Departamento de Agricultura obtuvo esa maquinaria, prestándola a los supervisores de los distritos de conservación de tierras, quienes la manejaron durante los años de guerra, disminuyendo así los costos de desagüe. A medida que aumentaba el volumen de trabajo y que había más maquinaria disponible, aumentaba el número de los contratistas que se interesaban en el trabajo, y la competencia resultante hizo bajar los precios. Los supervisores de los distritos devolvieron la maquinaria que se les había prestado, y desde 1950 no han vuelto a hacerse trabajos con maquinaria propiedad del gobierno.

El éxito del programa puede apreciarse por la cantidad de obras efectuadas. En 10 años se construyó un total de 3,176 millas de desagüe, lo que implicó el movimiento de más de 18.600,000 yardas cúbicas de tierra. De las 2,000 millas de desagües principales y laterales que se necesitaban, se construyeron y rehabilitaron 963 millas, implicando el movimiento de 10.952,699 yardas cúbicas de tierra. Los desagües individuales de granjas llegaron a 2,213 millas, con 8.347,301 yardas cúbicas.

La participación del gobierno del Estado de North Dakota por medio de su legislatura y de su Comisión Estatal de Conservación de Aguas, de los supervisores de los distritos de conservación de tierras, del Servicio de Conservación de Tierras, del Servicio de Programas Agrícolas, de otras agencias federales, juntas de comisionados de condados, juntas de desagüe de los condados, juntas municipales, así como de los agricultores

del Valle del Río Rojo, ha constituido un programa altamente cooperativo que ha sido de resultados muy benéficos.

El trabajo restante que es necesario efectuar en este proyecto, excede de lo que se haya hecho. Hasta 1955 se había construido aproximadamente la mitad de los grandes desagües legales que se necesitaban, y el volumen de tierra removida que habrá que excavar para establecer desagües individuales adecuados en las granjas, excederá con mucho del que fue necesario para la construcción de los desagües principales y laterales. La rapidez con que se continúe todo el programa dependerá de las entradas de los agricultores y de la ayuda técnica y financiera disponible.

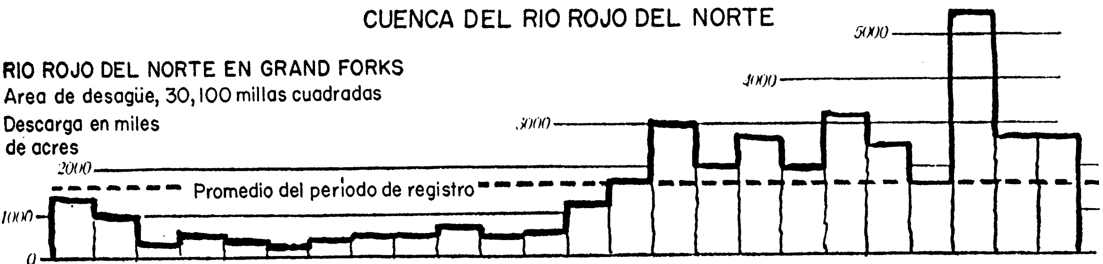
Para evitar que la excesiva humedad cause grandes daños a las cosechas y a la tierra en el Valle del Río Rojo, deben solucionarse dos problemas: Uno es el control de las inundaciones y el otro es el desagüe.

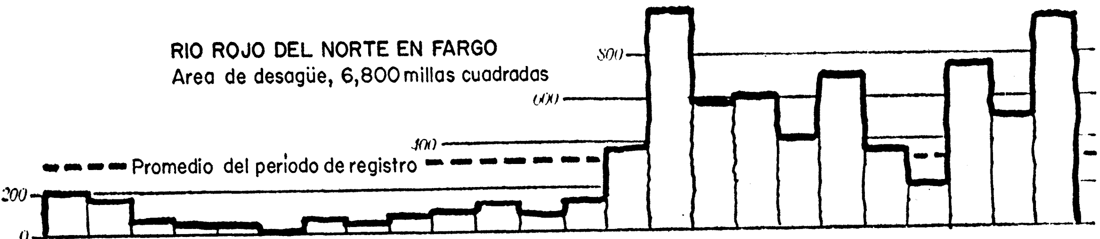
Ciertos aspectos de esos dos problemas están tan estrechamente unidos que es de dudarse que puedan solucionarse por separado. El fondo ancho y plano del valle hace necesaria la construcción de zanjas de desagüe. Las tormentas de naturaleza local que ocurren dentro del valle mismo, a menudo dañan seriamente las cosechas, a menos que haya un desagüe adecuado.

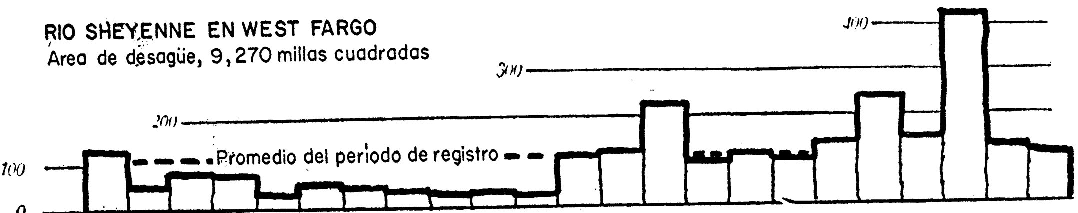
WALTER W. AUGUSTADT *ha estado trabajando con el Servicio de Conservación de Tierras desde 1935 y fue ingeniero de desagües del Valle del Río Rojo desde 1944 hasta 1950, habiéndose graduado como ingeniero de minas e ingeniero químico en la Universidad de North Dakota.*

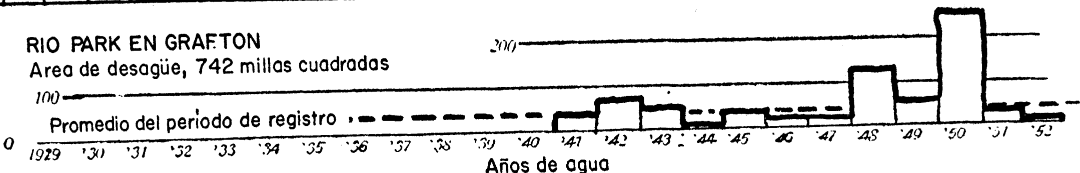
DESCARGA ANUAL DE LAS CORRIENTES DE NORTH DAKOTA

CUENCA DEL RIO ROJO DEL NORTE









El agua y nuestra fauna



La planeación de la utilización del agua con fines recreativos; una súplica

John H. Sieker.

MUCHAS ÁREAS POPULARES de recreo en los Estados Unidos de Norteamérica deben su atractivo al agua, las Cataratas del Niágara, el Lago Tahoe, miles de sitios de recreo a la orilla de los lagos, y un número incontable de sitios campestres a la orilla de las corrientes de agua.

Sin embargo, debido a una planeación inadecuada, otros usos del agua impiden a menudo que ésta se aproveche con fines recreativos. El valor recreativo del agua puede alterarse por la contaminación, y las desviaciones de la misma para riegos o usos industriales, a menudo pueden destruir su valor recreativo. A menos que se practique una planeación más adecuada de usos múltiples para las tierras y el agua, se acabará con muchos valores recreativos ya existentes o en potencia.

Las vertientes hidráulicas deben protegerse contra la erosión y manejarse en tal forma que proporcionen el máximo de agua pura con un mínimo de rápidas crecientes y sedimentos. Los bordos de las corrientes y orillas de las presas deben quedar libres de todo proyecto innecesario; pero esto no significa que deban excluirse todos los usos recreativos. En las condiciones actuales, pocas ciudades pueden prescindir de la filtración y clorinación, y si esas instalaciones se proyectan debidamente y tienen una supervisión adecuada, la vertiente hidráulica de una ciudad puede utilizarse como sitio campestre para pequeñas embarcaciones y para la pesca, sin que peligre la salud de los habitantes, y en esta forma se puede obtener un doble uso.

Los dividendos obtenidos en salud, bienestar y felicidad para el hombre deben compensar ampliamente el costo de eliminar la contaminación industrial y de albañales. El potencial recreativo de la tierra a lo largo de muchos ríos, tales como el Ohío, Cumberland, Hudson, Potomac, Mississippí y Missouri, sería enorme si no estuvieran contaminados.

COMO RESULTADO DE LA PLANEACIÓN con un solo propósito, los valores recreativos del agua pueden destruirse o aminorarse innecesariamente por los proyectos de producción de energía o por las presas para control de inundaciones y riegos. Cientos de miles de magníficas corrientes en donde podía pescarse, han quedado inundadas por las presas. Cuando está llena, una presa puede tener tanto valor recreativo, aunque de clase diferente, que las corrientes que inundó; pero a menudo las presas sólo se llenan parcialmente durante el máximo de la estación de recreo. Una presa a medio llenar

con orillas lodosas no es atractiva y su capacidad de producción de peces generalmente es baja, porque la fluctuación del nivel del agua destruye sus alimentos y las temperaturas más elevadas del agua a bajos niveles puede ser perjudicial para las especies deportivas.

Muchas millas de buenas corrientes de pesca se secan en el verano porque sus aguas se desvían para riegos y producción de energía. De ese modo pueden destruirse buenas áreas de recreo abajo de una presa o vertedero de desviación, además de los valores recreativos que se destruyen por las inundaciones causadas por la presa misma.

La economía norteamericana requerirá mayor número de presas para producción de energía eléctrica, depósitos de riego, proyectos para el control de inundaciones y desviaciones de agua para usos municipales o industriales; pero también habrá una creciente necesidad de recreación a campo abierto, y la importancia de esa recreación exige que la consideración de los valores recreativos entre en las decisiones generales relacionadas con los usos del agua. En algunos sitios los valores recreativos pueden ser mayores que el de cualquier proyecto para fines industriales, y a menudo puede preservarse una parte de esos valores mediante una planeación y manejo apropiados. Los que gustan de ese recreo tienen derecho a exigir que se den valores reales a los usos recreativos de las aguas y que en todos sus planes de manejo se consideren esos valores.

Un pie-acre de agua con una carga de 100 pies puede valer 4 dólares para producción y otros 5 dólares para riego, después de que se le han extraído los kilovatios que contiene. Una presa de buen tamaño puede contener agua por valor de medio millón de dólares a base de esas cifras.

Supongamos, sin embargo, que esa presa ha inundado 15 millas de corrientes recreativas y que las desviaciones han secado otras 10 millas corriente abajo hasta el grado de que se destruyan la pesca y otras actividades recreativas. Si esas 25 millas de corrientes eran capaces de proporcionar 250,000 días de recreo anuales por individuo antes de que se construyera la presa, y si ésta, debido a la fluctuación de niveles, sólo atrae después a 50,000 visitantes al año, ¿cuál sería la pérdida en valor recreativo? Calculada en 1 ó 2 dólares diarios, sería más de la mitad del valor que tuviera el agua para riegos y producción de energía.

Un almacenamiento no tiene que utilizar necesariamente toda el agua de un río. En varios casos en que se han almacenado aguas en los bosques nacionales, el Servicio Forestal ha exigido de las compañías productoras de energía que liberen no menos de 50 pies por segundo durante los meses de mayor recreación, junio, julio, agosto y septiembre. Cincuenta pies por segundo equivalen aproximadamente a 99 pies-acre diarios, y esto significa una liberación de agua con valor de 2,770 dólares semanales para producción de energía.

Si con 2,770 dólares semanales pueden mantenerse 10 millas de áreas de recreo y corrientes de pesca, ¿cuánta gente tiene que disfrutarlas para que resulten costeables desde el punto de vista de utilidad pública? No sería raro que las millas de buenas corrientes de pesca a través de bosques atractivos proporcionaran recreo adecuado para 10,000 personas a la semana. Por lo tanto, si el uso recreativo sólo valiera 28 centavos diarios, el público recibiría el valor de su dinero. La mayor parte de la gente apreciaría el valor de un día de recreo en más de un dólar.

Una cuidadosa consideración de los valores relativos de los usos recreativos y otros usos del agua, puede comprobar que es conveniente demorar el abastemiciento de una presa a fin de que quede razonablemente llena durante el máximo de los meses de recreo. Mediante una combinación de almacenamiento de flujos durante la primavera y de retraso del abatimiento hasta después del Día del Trabajo, podría hacerse que muchas presas proporcionaran facilidades para el recreo y pesca deportiva en el verano. La pérdida de valor del agua para producción de energía o para riegos puede calcularse con toda precisión, y pueden determinarse también las ganancias obtenidas en su valor recreativo, debiendo conside-

rarse ambos para determinar cuál de los dos será de mayor valor para el público.

JOHN H. SIEKER *es jefe de la División de Recreación y Usos de la Tierra del Departamento Forestal.*

El cuidado de las vertientes hidráulicas para proporcionar una pesca mejor

Herman F. Olson, O. H. Clark y D. John O'Donnell.

LOS 30 MILLONES DE NORTEAMERICANOS que se van de pesca cada año y los otros 30 millones que desearían hacerlo, se ven muy preocupados al hacer la siguiente pregunta: "¿Qué está sucediendo con nuestros peces y nuestros arroyos?"

He aquí tres ejemplos de lo que ha sucedido:

En el sur de Wisconsin se ha perdido mucha de la pesca de truchas de río debido al desmonte de tierras, a la labranza y a los pastos. Se puede obtener una pesca limitada a base de poner y quitar: Se plantan las truchas en los arroyos con la esperanza de que los pescadores las encuentren antes de que sucumban debido a las malas condiciones existentes.

El río Whitewater y sus tributarios del sureste de Minnesota, proporcionaban anteriormente 150 millas de buenas aguas de trucha. En 1941 sólo había 60 millas de arroyos con truchas y éstos se encontraban en malas condiciones. El manejo más adecuado de las vertientes hidráulicas ha aumentado esa cantidad a 80 millas.

Los arroyos limpios alimentados de los manantiales de las montañas Ozark, en Missouri, han quedado sujetos a serias inundaciones después de un siglo de utilización destructora de la tierra. Las operaciones madereras, los incendios habituales de los bosques, la labranza y los pastos excesivos han perjudicado las vertientes. Una sequía de 1951 a 1954 acabó con las inundaciones y resultó ser menos perjudicial para las poblaciones de peces que las inundaciones periódicas.

Esas condiciones, así como los estudios de los peces, de los lagos y arroyos, han demostrado que la buena pesca depende de un buen ambiente acuático que proporcione alimento, protección y otros requisitos que son indispensables para que los peces se multipliquen. Las condiciones de los arroyos y lagos dependen a su vez del estado de las vertientes de que forman parte, y, por lo tanto, las plantaciones de peces y los reglamentos restrictivos de la pesca, que antes se creían que constituían un remedio, están siendo reemplazados por la conservación adecuada del ambiente y de las vertientes hidráulicas como soluciones más prometedoras al problema de conservar nuestros recursos de pesca.

Generalmente los pescadores han estado de acuerdo con este análisis y con la solución actual. Muchos de ellos se han dado cuenta de la declinación de los peces en un lago o arroyo favorito y la han asociado con los cambios resultantes del mal uso de las tierras circunvecinas. Han visto cómo las inundaciones pueden arrastrar las plantas e insectos alimenticios, destruir las camas de reproducción y obstruir los arroyos con arena y sedimentos, y han visto también cómo los excesos de desbordamientos de las lluvias impiden que las vertientes absorban el agua suficiente para que puedan abastecer los arroyos entre los periodos de lluvia, lo que hace que su flujo se disminuya a tal grado que los peces quedan confinados a secciones limitadas, y, por lo tanto, sufren escasez de alimento y quedan expuestos a los ataques de los diversos depredadores.

A veces los arroyos pueden volverse intermitentes y esto destruye todos los peces. La disminución del flujo de los manantiales y la pérdida de sombra en las orillas puede elevar la temperatura de los arroyos sobre la que requieren las truchas. El incremento de la erosión en las vertientes hidráulicas puede acelerar la sedimentación de los lagos y presas y producir un ambiente en el que sólo pueden

vivir peces corrientes. La destrucción de los peces en invierno puede resultar de la falta de oxígeno que ocurre a menudo en aguas poco profundas y llenas de hierbas.

La fertilidad de las aguas de pesca es un reflejo de la fertilidad de las vertientes hidráulicas de las que proceden. La pérdida de fertilidad debido a las talas inmoderadas, a los incendios, a los excesos de pasto y a las prácticas perjudiciales de labranza, disminuyen la producción de peces, así como el rendimiento de las cosechas de la tierra.

Bajo condiciones primitivas las hierbas y árboles cubrían prácticamente toda la superficie de la tierra. Las excelentes condiciones de las vertientes hidráulicas daban por resultado arroyos limpios y productivos. Una cantidad suficiente de agua entraba a la tierra para alimentar los manantiales y escurrimientos y conservar el flujo de los arroyos.

Los cambios habidos en unas cuantas generaciones pueden mencionarse brevemente. El desarrollo agrícola ha removido la cobertura permanente de tierras y árboles aproximadamente en 400 millones de acres de tierras que se destinan a cosechas de surco, y otros 900 millones de acres adicionales de tierras nativas de hierbas y bosques se han poblado con animales domésticos. La cobertura en una buena parte de esa superficie ha disminuido grandemente, y la tierra ha quedado hollada y consolidada, haciendo más difícil la absorción del agua.

La tala de grandes extensiones de bosques, la remoción de la sombra de los arroyos, los incendios de los desechos después de las operaciones madereras y el uso de los arroyos como canales para el deslizamiento de troncos, disminuyó la protección, destruyó los desechos y la tierra superficial y redujo la fertilidad. Las malas condiciones de las vertientes hidráulicas han afectado no sólo nuestra economía agrícola y forestal, sino también nuestros recursos recreativos y de pesca.

La contaminación producida por la descarga de desechos industriales y domésticos en las corrientes y lagos, ha sido una de las principales causas de destrucción de las poblaciones de peces y ha aumentado en importancia con el crecimiento de la población y la expansión de los proyectos industriales. El problema se ha vuelto vergonzoso y urgente en muchos sitios. El control de la contaminación es un factor importante en los programas de las vertientes hidráulicas desde el punto de vista de las pesquerías, pero debe tratarse aparte de las fases de manejo de tierra.

PUEDEN RESTAURARSE LAS BUENAS condiciones por medio de un cuidado comprensivo de las vertientes hidráulicas. Cierto número de proyectos indican una inversión alentadora de la destrucción a la restauración de los ambientes.

El mayor énfasis dado a las tierras forestales de propiedad privada y el interés en su conservación, es un ejemplo. Las prácticas adecuadas de corta, la protección contra los incendios y la reforestación de tierras de granja incendiadas y abandonadas, están restaurando eficazmente las buenas condiciones de las vertientes hidráulicas en este tipo de tierras.

Se están aumentando grandemente las oportunidades de pesca mediante la construcción de depósitos para almacenamiento de aguas. Estos varían de tamaño desde un estanque de granja de menos de un acre a lagos y presas para el control de inundaciones. Generalmente sirven a la vez para varios fines y son benéficos para el control de inundaciones, para la fauna, para abrevar el ganado, para la natación, la navegación en bote, para campamentos y como sitios campestres.

LA VERTIENTE HIDRÁULICA de Spring Creek, en el Bosque Nacional de Missouri, muestra el efecto benéfico de las prácticas de conservación de tierra en un arroyo. Cuando el Servicio Forestal compró esta área de 5,000 acres en 1935, era típica de las colinas Ozark del sur de Missouri. La madera se daba en plantíos abiertos con árboles de mala calidad que se habían incendiado.

La cría de ganado proporcionaba un medio precario de vida para los habitantes de la localidad, porque los forrajes se habían agotado después de un siglo de uso excesivo. Los bosques se incendiaban

periódicamente con la idea errónea de que era necesario quemarlos para producir hierba. El suelo estaba desnudo de hojas y de desechos, y la erosión de la tierra superficial había dejado al descubierto las rocas Chert comunes en las tierras de las colinas Okark.

El arroyo Spring se inundaba con cada lluvia fuerte que arrastraba grava de las colinas y obstruía su lecho. Los manantiales y escurrimientos dejaron de fluir, y el arroyo Spring se volvió intermitente, secándose completamente si las lluvias frecuentes no suministraban desbordamiento superficial. La pesca era prácticamente inexistente.

Las buenas prácticas de conservación produjeron un cambio. Se ha dado al área excelente protección contra los incendios; los plantíos de árboles madereros se han mejorado cortando y circundando los árboles defectuosos sin ningún valor comercial. Se han plantado árboles nuevos y se ha controlado el pastado. Las hojas y ramas tiradas en el suelo han restaurado la fertilidad a tal grado que miriadas de insectos y otros animales semejantes nuevamente encuentran un ambiente adecuado, penetrando en la tierra y mezclando en ella los desechos de su descomposición. Las hierbas, las plantas herbáceas, los árboles y los arbustos, han aumentado en densidad.

La cobertura vegetativa mejorada intercepta las lluvias y los desechos actúan como una esponja para absorberlos. La tierra porosa recoge el exceso de agua y las pruebas de infiltración han demostrado que esas tierras reacondicionadas absorberán 2 pulgadas de agua en menos de 3 minutos, comparado con una hora o más para tierras semejantes sujetas a incendios y abusos.

El arroyo Spring comenzó a fluir durante todo el año, y aun en 1954, después de 3 años de extremada sequía, llevaba agua suficiente para que vivieran los peces, aunque algunas pequeñas secciones eran simples arroyuelos a través de los depósitos de grava dejados por las inundaciones anteriores.

En varios Estados los pescadores se han convencido de que los buenos programas de conservación de las vertientes hidráulicas son indispensables para la buena pesca, y han alentado a sus departamentos de conservación para que se ocupen de la organización de programas para el desarrollo de las pequeñas vertientes hidráulicas, habiendo aprobado que se destinen los ingresos de las licencias de pesca para ese objeto, como inversión para conservar la pesca deportiva.

Míchigan y Wisconsin han iniciado programas de conservación de las vertientes hidráulicas que ameritan mención especial como ejemplos de participación de los grupos de deportistas.

En Míchigan el trabajo se llevó a cabo por el Departamento de Conservación del Estado. El programa se inició en el verano de 1950, en el río Rifle, del condado de Ogemaw, y cubre 180,000 acres, propiedad privada y dos terceras partes de propiedad federal y estatal.

Se tomaron medidas para financiar ésta y otras unidades subsecuentes de conservación de las vertientes hidráulicas, con fondos obtenidos de la venta de las licencias de pesca, y se destinaron 200,000 dólares para la primera parte del proyecto. En el año fiscal de 1954-1955 habían quedado disponibles 360,000 dólares para obras de desarrollo de las vertientes, completándose tres unidades entre 1950 y 1955, e iniciándose otras dos más.

Debe darse crédito del éxito de las obras a la política de dejar que se hicieran en propiedad privada, que consiste su mayoría de tierras de granja, esperándose que los beneficios repercutan en las vertientes, como se estimó en las inspecciones.

Un sencillo permiso para dar acceso a las cuadrillas de trabajadores y para que se lleve a cabo el mantenimiento de las estructuras es todo lo que se requiere del propietario, quien se compromete a no causar disturbios o hacer cortas en los plantíos de árboles durante 10 años. Conviene también en no destruir las estructuras o cercados de las corrientes, pero no se le exige que permita el acceso a su propiedad a pescadores o cazadores. Estos convenios han resuelto muchos de los problemas relacionados con la construcción de obras públicas en tierras de propiedad privada.

Se alienta el esfuerzo cooperativo que suministran las muchas organizaciones y agencias interesadas, entre ellas el Servicio Forestal, los distritos de conservación de tierras y la Inspección Geológica. Los grupos locales participan en la formación de comités directivos que se reúnen a intervalos para discutir los métodos de desarrollo del proyecto.

En 1952 se inició una inspección de las vertientes hidráulicas de todo el estado para determinar la extensión de las áreas que constituían problemas, las medidas correctivas necesarias, los costos, los resultados esperados y la posibilidad económica en relación con los beneficios para la pesca.

Cada parte de la inspección se inicia con un rápido reconocimiento del sistema de corrientes y tierras altas, a fin de calcular si hay necesidad de mayor información. Si es necesario llevar a cabo algunas medidas, se hace una inspección detallada del patrón de desagüe, condiciones de erosión, derechos de propiedad, métodos de labranza, cobertura, usos recreativos y temperaturas y flujo del agua. Si hay indicaciones de que se necesite un proyecto de obras, se lleva a cabo un plan de ejecución que pueda ejecutarse por las cuadrillas de campo.

La lista de los arroyos inspeccionados permite el establecimiento de un sistema de prioridades basándose en las condiciones conocidas y en los problemas de las vertientes hidráulicas en las que se han hecho inventarios.

Los planos completos se turnan al supervisor de campo y se comienzan los trabajos. Generalmente se construye una oficina de campo o se traslada a la región de operaciones, y siempre que es posible se contrata mano de obra local.

El trabajo de campo es de dos categorías: La primera incluye las obras en las tierras altas, que se hacen en cooperación con los agricultores y que comprenden los planes para las granjas basados en las recomendaciones del Servicio de Conservación de Tierras, plantaciones de árboles, vías de agua, estanques de retención y otras medidas para la conservación de la tierra y del agua. La segunda incluye la construcción y mejoramiento de los canales de las corrientes.

En los condados que se han organizado para funcionar como distritos de conservación de tierras, los planes de las granjas se preparan por el planeador de granjas del Servicio de Conservación de Tierras. En los demás condados, es el planeador de la utilización de tierras del Departamento Estatal de Conservación quien se encarga de esos planes. En las tierras a través de las cuales fluyen algunas corrientes, se recomienda el empleo de cercados a lo largo de los bordos, con lugares de acceso para el paso del ganado, así como la plantación de árboles para dar sombra y protección dentro de los cercados, lo que se hace sin costo para el propietario. Se prepara también un programa permanente de mantenimiento.

Se proyectaron tres procedimientos para la plantación de árboles más allá de los bordos de las corrientes: Las tierras que contribuyen directamente con sedimentos de desbordamiento a las corrientes, se plantan, cercan y conservan por cuenta del estado; las porciones de las granjas que no se consideran críticas para el flujo de las aguas se plantan por el terrateniente, y el material se suministra sin costo; en áreas que no son críticas, tales como un plantío de árboles madereros que se van a transformar con árboles de especies más valiosas, el estado arregla la entrega del material al propietario; pero el agricultor debe pagarlo, así como el costo de replantación, y el equipo necesario para la plantación se le renta mediante el pago de una pequeña cuota. Las vías de agua que se consideran críticas para los arroyos, se diseñan, construyen y conservan por el estado, y se colocan las entradas de torno que el propietario desee para conveniencia de los pescadores, encargándose el Departamento de Conservación del cuidado de las mismas.

El trabajo de mejoramiento de los canales queda a cargo de cuadrillas adiestradas y consiste principalmente de estructuras de tipo de deflector, protectores de bordos y cubiertas. Si hay roca disponible, es preferible su empleo como material de estabilización de bordos, aplicándose después de rectificar los ángulos críticos del

bordo. La zona que queda sobre el alto nivel de agua se siembra con hierbas o se cubre con tierra de desechos vegetales, y se emplean palas mecánicas para conformar los bordos y hacer excavaciones en los sitios en donde los lechos de las corrientes son duros.

Se han separado dos pequeños sistemas de corrientes para las determinaciones experimentales de precipitación, cantidad de desbordamientos, fluctaciones de los niveles del agua del suelo y pérdidas de tierra. Se emplean medidores registradores automáticos para determinar la precipitación, volumen del flujo de las corrientes y temperatura.

La cooperación con la Inspección Geológica para financiar el costo de los registradores de flujo de corriente, es parte del programa. Se instala un buen número de ellos en los pequeños tributarios, y proporcionan datos sobre los cambios de flujo de las corrientes que pueden ocurrir debido al mejoramiento de la utilización de la tierra. Tienen termógrafos registradores para obtener datos sobre los cambios de las temperaturas normales de las corrientes, y se hacen inspecciones periódicas para precisar los cambios que sean indispensables en las normas de utilización de la tierra.

EN WISCONSIN EL PROGRAMA de desarrollo de las vertientes hidráulicas enfatiza la participación de todas las divisiones del Departamento de Conservación y cuenta con el apoyo de todos los grupos interesados en la conservación de las vertientes, agencias públicas, terratenientes, funcionarios de las municipalidades y condados y organizaciones de servicio.

Cuatro agencias públicas cooperan en todos los programas relacionados con las vertientes hidráulicas, funcionando bajo un convenio conjunto que detalla las responsabilidades y ayuda que puede prestar cada una de ellas. Esas agencias son el Comité Estatal de Conservación de Tierras, el Servicio de Conservación de Tierras, el Servicio Universitario de Extensión Agrícola y el Departamento de Conservación de Wisconsin.

Se organiza una asociación de la vertiente para obtener y coordinar los intereses y esfuerzos de los terratenientes, de los funcionarios de las municipalidades y condados y de las organizaciones locales de servicio, eligiéndose sus funcionarios y directores. Estos trabajan en unión de las agencias públicas planeando el desarrollo de cada acre de la vertiente hidráulica.

El programa se ocupa de la conservación de los recursos naturales del estado mediante la conservación de las pequeñas vertientes. La base de todo ello es la idea de que se dará atención a todas las fases de conservación de tierras, aguas, bosques, peces y fauna, para beneficio final del terrateniente, la comunidad y el estado. En 1955 funcionaban 39 asociaciones de vertientes.

Este programa es consecuencia de otro de desarrollo de corrientes y ambientes iniciado en 1948 a base de demostración por la División de Conservación de Pesca del Departamento de Conservación, con un presupuesto de 10,000 dólares. La Comisión de Conservación aprobó en 1950 un programa de desarrollo de vertientes hidráulicas en todo el estado y se dio la responsabilidad primordial del mismo a la División de Conservación de Pesca.

El Departamento de Conservación coopera para llevar a cabo inspecciones básicas de las necesidades de las vertientes hidráulicas y de sus posibilidades de desarrollo; aconseja y ayuda a los terratenientes para establecer plantaciones de árboles, cortinas de protección contra el viento, zonas de refugio y alimento y sitios de refugio para la fauna, y aconseja sobre el cuidado y protección de los sitios boscosos contra los incendios, insectos y enfermedades, y sobre los métodos de recolección y mejoramiento de los plantíos madereros.

Se da atención inmediata a la protección de las vías de agua a fin de disminuir los riesgos de erosión mientras se están aplicando las medidas de conservación en la vertiente. Se renta de los terratenientes una zona de protección de una a 10 varas a cada lado de las corrientes por un periodo de 20 años, con opción a renovarla por otros 20 años, por una cantidad nominal. El arrenda-

miento asegura la protección y desarrollo, así como el acceso del público. Se da prioridad al cercado de las fajas laterales de las corrientes y se toman medidas para proporcionar abrevaderos para el ganado y los cruces de las corrientes que pueda necesitar el agricultor. Se plantan árboles y arbustos para estabilizar los bordos y proporcionar sombra y alimento para la fauna a los lados de las corrientes, y se siembran las áreas desnudas con diversos tipos de hierba que ayudan a la retención de la tierra.

El mejoramiento de las corrientes para la pesca pueden incluir desarrollos estructurales, tales como deflectores, cubiertas, retenes y estructuras de bordos de varios tipos, que ayudan a suministrar los requerimientos básicos de protección, alimento y áreas de procreación para los peces, así como temperaturas adecuadas del agua.

El estado emplea una docena de cuadrillas de trabajadores de campo para efectuar esa clase de trabajos, y muchos proyectos de mejoramiento se terminan por 65 grupos cívicos y deportistas. El Departamento de Conservación proporciona planos, supervisión, herramientas y materiales a medida que se necesitan.

Los grupos que desean cooperar han dado cierta ayuda al terrateniente, ordinariamente en la plantación de árboles, y de ello ha resultado un mejoramiento de las relaciones entre los agricultores y los deportistas. El deportista se beneficia también con el mejoramiento de la pesca y la caza, y los estudios de las poblaciones de peces han demostrado que ha aumentado su número en las corrientes en donde se han efectuado esos mejoramientos.

HERMAN F. OLSON *está encargado de la conservación de la fauna y pastos en la región central del Servicio Forestal.*

O. H. CLARK *está encargado de los trabajos sobre desarrollo de vertientes hidráulicas y mejoramiento del ambiente de pesca en Míchigan, habiendo sido miembro del Departamento de Conservación de ese estado desde 1936.*

D. JOHN O'DONNELL *es supervisor del programa de conservación de vertientes hidráulicas del estado de Wisconsin, y ha estado con el Departamento de Conservación del mismo desde 1936.*

El acondicionamiento de nuevos arroyos de truchas en la sierra nevada

Fred P. Cronemiller.

LAS REPRESAS PEQUEÑAS y poco costosas han producido muchos excelentes arroyos de truchas en donde no existía antes ninguno en la Sierra Nevada de California.

El flujo de las corrientes en esta cadena de montañas normalmente es muy bajo en verano, y la mayoría de los pequeños tributarios se secan completamente. La trucha iris nativa sobrevive al verano en los lagos, en los grandes tributarios, en estanques alimentados por manantiales y en las mayores alturas en las que la fusión tardía de los mantos de nieve produce cierto flujo de las corrientes; pero la mayoría del desove natural se pierde cuando los arroyos se secan, y la pesca se vuelve mediocre.

Se han diseñado pequeñas represas a las que se ha dado el nombre característico y adecuado de represas de mantenimiento de flujo, que tienen por objeto almacenar agua a fin de obtener flujos regulares en el verano en esos arroyos.

El clima y la geología de la Sierra Nevada hace necesarias las represas. En Redding y Kernvillee, cerca de los extremos opuestos de la Sierra Nevada, menos del 5% de la precipitación anual ocurre entre el 1º de junio y el 30 de septiembre, y no hay agua suficiente para que los arroyos sigan corriendo sin que ocurra almacenamiento de la precipitación de invierno, siendo la mayor parte de la cadena montañosa demasiado rocosa para almacenar grandes cantidades de agua en su interior. La glaciación hizo de las partes más altas de esa cadena montañosa una extensión más o menos árida de rocas talladas y fragmentos de roca con muy escasa capacidad de retención de agua. La fusión de las nieves prolonga el des-

bordamiento de los manantiales hasta junio o julio, pero durante el resto del verano los arroyos dependen de los limitados suministros de agua del suelo.

La acción glacial que creó las cuencas alpinas dejó varios cientos de lagos, en muchos de los cuales pueden construirse represas sin gran costo. Sus salidas generalmente se encuentran en un lecho de roca y sólo se necesita un mínimo de excavación. Los costos unitarios del almacenamiento son bajos, porque detrás de cada pie de altura de las represas se almacenan grandes cantidades de agua, mientras que las presas construidas en los canales normales de desagüe, que son excesivamente pendientes, tienen muy poca capacidad de almacenamiento en los primeros pies de altura.

El área en la que ocurren cuencas de origen glacial se encuentra principalmente entre los 7,500 y 9,000 pies de altura. Abajo de 7,500 pies la topografía está más dividida y los arroyos tienen un pronunciado y continuo declive hacia abajo que da pocas oportunidades para un almacenamiento económico. Arriba de 9,000 pies la fusión de las nieves es lenta y los arroyos se conservan mejor; pero la topografía es más abrupta, las caídas de agua limitan el movimiento de los peces para el desove y hay un mínimo de tierra adecuada para la conservación de la cadena alimenticia natural y de otros requerimientos de un arroyo de truchas productivo.

En la Sierra Nevada tres áreas se prestan admirablemente para la instalación de represas de mantenimiento de flujo: El desagüe de Toulumne, en el Bosque Nacional Stanislaus; los de Norteamericano y del río Truckee, del Bosque Nacional Eldorado, y el desagüe de San Joaquín, del Bosque Nacional Sierra. En el resto de la Sierra Nevada la topografía es demasiado abrupta o los proyectos de desarrollo demasiado costosos en la mayoría de los sitios.

El desagüe del arroyo Cherry, tributario del río Toulumne, tiene un patrón de desbordamiento típico de la región de granito glacial de la Sierra alta.

Entre los tributarios superiores del arroyo Cherry se encuentran más de 80 millas de arroyos potenciales de truchas. Se ha instalado un medidor de corriente a una altura de 4,500 pies, arriba de la cual hay una área de desagüe de 111 millas cuadradas. Aproximadamente el 80% del área queda entre los 7,500 y 10,000 pies de altura. El desbordamiento total en un año húmedo típico, como el que terminó el 30 de septiembre de 1949, es de 214,400 pies acre. La fusión de las nieves comenzó temprano en el mes de abril de 1949, y las mediciones de flujo se elevaron desde 140 pies cúbicos por segundo el 1º de abril, a más de 1,000 pies cúbicos por segundo el 12 del mismo mes. Desde entonces hasta mediados de junio, el flujo fue en su mayoría de 1,000 a 2,000 pies cúbicos por segundo, bajando luego uniformemente hasta 32 pies cúbicos por segundo para el 15 de junio y 10 pies cúbicos por segundo el 30 de julio. En agosto y septiembre se registraron escasos flujos de 5 pies cúbicos por segundo, secándose los tributarios más pequeños. En octubre los flujos aumentaron en forma suficiente para conservar la vida de los peces.

La fluctuación del flujo de las corrientes ha creado problemas en California desde que las primeras Misiones españolas desviaban el agua para sus jardines y granjas. Poco después del descubrimiento del oro en 1848 los mineros comprobaron que los deficientes flujos de verano hacían necesario el almacenamiento de agua para extender el periodo de operaciones mineras, y más tarde los riegos y los proyectos hidroeléctricos exigieron el almacenamiento de vastas cantidades del desbordamiento de invierno y primavera para suministrar agua durante el verano.

Fred Leighton, de Sonora, California, un pescador y conservador entusiasta fue el primero que aplicó los principios del almacenamiento de agua para la mejoría de la pesca. Su deseo de evitar la pérdida anual de miles de pequeñas truchas en los arroyuelos del Bosque Nacional Stanislaus, lo llevó en 1925 a construir una pequeña represa en uno de los lagos de origen. Esa represa funciona todavía y la liberación de sus aguas almacenadas

en los veranos secos ha creado un arroyo permanente con excelente pesca.

Después del éxito del primer proyecto se obtuvieron fondos para la construcción de algunas otras estructuras en 1931. Los fondos y los materiales se obtuvieron de varias fuentes, clubes de deportistas, ciudades, condados, el Departamento Estatal de Pesca y Caza y el Servicio Forestal. En la década de 1930 se terminaron varios proyectos que se llevaron a cabo bajo programas de emergencia del Servicio Forestal, y desde la Segunda Guerra Mundial la construcción de represas de mantenimiento de flujo ha sido financiada principalmente por el Departamento Estatal de Pesca y Caza.

En 1954 se habían instalado 40 represas que almacenan 11,295 pies acre de agua y que costaron aproximadamente 150,000 dólares. Más o menos la mitad de ellas se construyeron antes de la Segunda Guerra Mundial, con un costo promedio de 5.75 dólares por pie acre de agua almacenada. Desde la guerra los costos han subido a cerca de 25 dólares por pie acre de almacenamiento, debiéndose ese aumento a que se triplicaron los costos unitarios y al hecho de que durante las primeras etapas del programa se construyeron represas en los sitios más económicos.

Antes de construir las represas las áreas en las que dan servicio no ofrecían ningún atractivo a los pescadores, y muy pocos iban a pescar a ellas. Las truchas sólo abundaban en unos cuantos lagos y ordinariamente eran de la misma edad, reflejando esas condiciones un año húmedo en el cual los flujos de las corrientes habían sido apropiados para que el desove tuviera éxito.

Actualmente el desove es muy eficaz y los arroyos y lagos se encuentran bien poblados. La producción de alimentos para las truchas ha aumentado y son mayores el número y tamaño de los peces. El esfuerzo de pesca se ha multiplicado en igual forma que los peces cobrados por cada pescador.

El costo de las "fábricas de truchas" naturales es menor que el de las instalaciones de criaderos equivalente. Su conservación prácticamente no cuesta nada y la naturaleza paga las cuentas anuales de los costos de producción, que constituyen el factor principal cuando los peces se crían artificialmentee.

DEBEN TENERSE EN CUENTA varios factores para determinar las ventajas de los proyectos de mantenimiento de flujo que se presenten. Primero, y naturalmente, debe haber la necesidad demostrable, una comprobación de que las fluctuaciones del flujo del agua han disminuido o eliminado las posibilidades de producción de truchas. Segundo, debe haber la posibilidad de almacenar el agua suficiente para conservar el flujo requerido. Como guía general, una represa o serie de represas debe proporcionar almacenamiento por lo menos para 100 pies acre de agua, lo que daría por resultado un flujo de 0.5 pies cúbicos por segundo durante 100 días, aunque el flujo ordinariamente sea un poco menor debido a la evaporación en las represas. Ordinariamente un flujo de esa índole asegura la supervivencia del desove. En sitios en donde los manantiales y la filtración suministran agua corriente abajo, una cantidad menor de los 100 pies acre de agua almacenada podría ser muy benéfica. Por lo tanto, pueden llevarse a cabo algunos proyectos aunque los sitios de almacenamiento sean muy limitados.

Existe una situación ideal en aquellos sitios donde las represas pueden construirse en serie o cuando algunas de ellas pueden construirse arriba de un lago natural. Dos o más lagos en serie proporcionan aguas habitables y aseguran áreas productivas de desove entre los lagos, y eso es lo que ocurre en 14 proyectos ya existentes. Una situación semejante existe en donde una represa baja mantiene el flujo de un tributario a una corriente mayor capaz de asegurar una fuente de peces en desove.

Naturalmente, la pesca mejor ocurre ordinariamente en el lago que se encuentra corriente abajo. Los peces son más grandes y tienen la ventaja de disfrutar del flujo reglamentado y de las áreas de desove. Aunque los arroyos son indispensables para casi todo el desove de truchas en esas áreas, hay que apreciar debi-

damente el valor de las 337 millas de corrientes destinadas a la pesca.

También debe tenerse en cuenta el costo de cualquier desmonte para determinar si un proyecto es factible. La parte inferior del área glacial se encuentra dentro del límite de los pinos de poste, y si el elevar los niveles de agua inunda una gran superficie de estos árboles de denso crecimiento, se necesitará una costosa labor de desmonte que tal vez haga antieconómico el proyecto.

El efecto del desarrollo de la producción de los alimentos de las truchas es muy importante. El aumentar la profundidad del agua en los pantanos y praderas de inundación puede aumentar los alimentos. Sin embargo, el aumentar la profundidad de los lagos mediante orillas escarpadas y pequeñas áreas poco profundas ordinariamente disminuye la producción de alimentos. La forma en que una represa afecta la capacidad de un lago para la producción y crecimiento de los peces puede ser un factor decisivo en la elevación de sitios.

Gran parte del área en donde es factible la construcción de represas de mantenimiento de flujo es naturalmente selvática y ciertas partes de ella han sido reservadas oficialmente con tal carácter, de acuerdo con las disposiciones de la Secretaría de Agricultura, que rige la administración de los bosques nacionales. Como esas áreas selváticas no tienen caminos y cuentan con escasos senderos, rara vez es practicable la repoblación artificial, y entonces la reproducción natural de los peces se convierte en fase esencial de cada proyecto, y cada uno de ellos debe contar con graves para el desove. Las represas pueden crear una barrera al movimiento de las truchas corriente abajo hacia los lechos de desove, pero los beneficios del flujo reglamentado corriente abajo pueden compensar con creces las pérdidas causadas por la barrera.

Muchos sitios apropiados para represas incluyen praderas con altos valores de forraje que podrían perderse al quedar inundadas. Algunas praderas pueden tener también un valor estético digno de consideración.

Por otra parte, algunos proyectos elevan las mesetas de agua a lo largo de las márgenes de los depósitos, lo que resulta en un incremento de la producción de forrajes. La mayoría de los pescadores y acampadores llegan a las cuencas alpinas mediante bestias de silla y de carga, y en algunas áreas ha tenido que darse atención al suministro de forraje para esos animales.

La mayoría de los proyectos aumenta el atractivo del área montañosa y hacen resaltar la belleza de todas las corrientes. Las obras de construcción se llevan a cabo teniendo en cuenta la conservación de las condiciones naturales, y la mayor parte de las represas se construyen de piedra nativa, dejando irregulares sus caras descubiertas para que armonicen con el ambiente local. A menudo los senderos principales rodean las represas a fin de evitar cualquier sensación de artificialidad al viajero.

EL MEJORAMIENTO DE LOS ARROYOS en toda la nación ha tenido éxitos notables. Probablemente los mejores de ellos son las represas de mantenimiento de flujo en la Sierra Nevada, que han aumentado la capacidad de agua de algunos lagos.

El mejoramiento de los flujos de agua ha ayudado a disminuir los máximos de inundaciones y ha contribuido con aguas adicionales durante periodos críticos corriente abajo, hecho que es bien apreciado por las compañías productoras de energía, los que emplean el agua para riegos y las municipalidades.

En 1955 estaba cercano el fin de las obras. El resto de los proyectos conocidos que quedaba por hacer no excedía de los que ya se habían terminado, continuándose los estudios biológicos y de ingeniería, y dándose prioridad a la terminación del programa.

El carácter selvático de la Sierra Nevada con su accesibilidad limitada, debe continuar reglamentando el número de pescadores, así como los peces que cobren. Indudablemente la naturaleza continuará repoblando los arroyos de truchas que el hombre ha ayudado a conseguir.

FRED P. CRONEMILLER *ha sido jefe de la Di-*

visión de Conservación de Fauna en la región de California del Servicio Forestal desde 1935, habiendo terminado sus estudios de silvicultor en el Colegio del Estado de Oregón en 1917.

Las necesidades de la fauna de agua para beber

Lloyd W. Swift.

MUCHOS DE NOSOTROS podemos recordar haber visto cómo bajan los animales salvajes a los abrevaderos durante los periodos de sequía en las regiones áridas. Nuestros recuerdos pueden incluir los disturbios causados por la repentina invasión de un abrevadero en pleno calor del día. Ocurre una explosión de vida, un aleteo y batir de alas, el susurro de las hojas producido por el paso de los animales y las notas espantadas de los pájaros; o podemos recordar estar sentados tranquilamente cerca de un abrevadero en una noche de verano y ver que los animales se acercan ordinariamente con precaución, recelosos y alertas.

Sin embargo, no los hemos visto todos. Hay muchas especies de animales silvestres que rara vez se ven en los abrevaderos, a diferencia de lo que ocurre con los peces y otros animales que viven en el agua, tales como las ranas y otros anfibios, que deben pasar en el agua parte de su ciclo vital, y otros como el castor, que entran y salen de ella. No se puede generalizar sobre las necesidades de agua de los animales silvestres: Algunos obtienen aparentemente toda la que necesitan de la vegetación suculenta o de los insectos blandos que devoran.

Cuando sus suministros de alimento se resecan, a menudo esos animales necesitan agua libre. Aunque ciertas especies pueden vivir aparentemente sin ella, la utilizarán si la tienen fácilmente disponible.

Sin embargo, podemos dar una lista de algunos orígenes del agua que utilizan los animales silvestres: El agua superficial de los arroyos, estanques, manantiales y otras formas de agua abierta o libre; la nieve; el rocío (fuente muy común para los pájaros y animales que pastan); las plantas suculentas (el follaje, frutos y otras partes de las plantas verdes en crecimiento); los insectos y otra vida animal (que a menudo contienen un alto porcentaje de humedad) y el agua metabólica. Unos cuantos animales pueden crear agua de los alimentos secos convirtiendo en ella los carbohidratos.

La mejor forma de que disponemos para manejar los suministros de agua en beneficio de los animales silvestres es por medio del desarrollo, transportación y retención de agua libre. Podemos también influenciar las cantidades de plantas suculentas mediante las plantas de cosechas que cultivemos.

LAS ESPECIES DE PERDICES que habitan en los bosques, tales como la perdiz de collar del Este y la perdiz azul de las montañas del Oeste, ocupan normalmente áreas en que hay tanto vegetación suculenta como agua libre. Ordinariamente se encuentran cerca del agua; pero el agua para beber puede ser innecesaria para su subsistencia, excepto posiblemente a fines del verano, cuando el alimento se reseca.

La perdiz de salvia de las tierras abiertas y áridas del Oeste aparentemente necesita agua durante los veranos calientes y secos.

En esa época beben el agua superficial y tienden a concentrarse cerca de los arroyos y manantiales. Ordinariamente la mayoría de las perdices de salvia se encuentran en verano más o menos a una milla del agua.

La perdiz Chukar se introdujo del Asia en Nevada, Washington y otras regiones secas de los estados del Oeste, y prefiere áreas de escasas lluvias en las que al agua superficial puede no abundar, aunque parece depender del agua libre durante las épocas secas y calientes del año. En julio y agosto la perdiz Chukar se encuentra ordinariamente a una milla del agua, y puede bajar a beber por lo menos una vez al día.

Los miembros de la familia de las codornices presentan algunas diferencias interesantes en sus requerimientos de agua. La cordoniz de cola blanca, la especie más ampliamente distribuida en los Esta-

dos Unidos de Norteamérica, no depende generalmente del agua superficial aun en estaciones de sequía, y obtiene toda la humedad que necesita del rocío y de los alimentos suculentos, incluyendo insectos. A veces bebe agua libre, la que, sin embargo, no le es indispensable.

La codorniz Gambel del Sudoeste, vive principalmente en regiones de escasas lluvias y aparentemente puede pasarse sin agua libre, aunque las mayores poblaciones de verano se encuentran cerca de ella, cuando hay agua disponible la codorniz Gambel la utiliza durante las estaciones de sequía.

La codorniz de valle del lejano Oeste vive a menudo en regiones de inviernos húmedos y veranos calientes y sin lluvias. Durante los meses de sequía vive cerca de un manantial, arroyo u otra fuente de agua para beber, y, por lo tanto, los intentos para aumentar el número de codornices de valle deben tener en cuenta un suministro de agua.

Las palomas torcaces y las de ala blanca vuelan ordinariamente a los abrevaderos durante la época de sequía del año, o a otros sitios donde puedan encontrar agua para beber.

El venado de orejas largas del Oeste y el venado de cola blanca que ocurre en el Este y partes del Oeste, parecen tener requerimientos de agua semejantes. Las indicaciones existentes son de que ambas especies pueden obtener toda la humedad que necesitan consumiendo vegetación verde y suculenta cuando la hay disponible. Aparentemente, sin embargo, bajan al agua durante los periodos de sequía y de calor cuando la vegetación herbácea se ha madurado y secado, y especialmente las gamas y servatos buscan el agua en los periodos de sequía. Los mejores terrenos de venados de orejas largas tienen agua disponible que los animales pueden utilizar durante el verano.

El antílope de las Montañas Rocallosas aparentemente necesita también tener acceso al agua libre en las épocas calientes y secas. En verano generalmente se encuentran cerca de donde hay agua para beber y visitan diariamente esos sitios. Se dice que los antílopes que quedaron confinados a los extensos pastos, murieron todos cuando no pudieron obtener agua, aunque abundaba el alimento.

El carnero de grandes cuernos de las Montañas Rocallosas vive todo el año en una área bien dotada de agua; pero las especies de carneros de grandes cuernos normalmente no bajan al agua mientras haya disponibles alimentos verdes y suculentos, y después de ello buscan frecuentemente los escurrideros, manantiales y abrevaderos.

Los animales silvestres se han beneficiado con los servicios de agua suministrados por los agricultores, tales como estanques de granjas, entubado de los manantiales por medio de canalones, retención de agua arriba de las presas y sumideros o tanques para almacenar agua.

Esos nuevos suministros de agua han permitido que especies tales como el antílope y la codorniz de valle proliferen en sitios que antes eran indeseables para ellos, pero a veces la fauna evita esos sitios porque carecen de alimentos. Por ejemplo, las codornices no utilizarán el agua si ésta está al descubierto y las expone demasiado a los ataques de los halcones y otros enemigos.

Contrariamente, el cercado de las presas, manantiales, pozos y áreas adyacentes, ha aumentado su uso por la fauna, porque el cercado y la exclusión de los animales que pastan aumenta el crecimiento de los arbustos y otra vegetación que suministran protección adecuada.

Cada vez se está dando más atención a los proyectos de desarrollo del agua, con el fin primordial de beneficiar a la fauna, tales como arroyos, depósitos, pozos y sumideros o tanques como los que se usan para el ganado.

Uno de ellos es el recolector de agua o bebedero, que se llena automáticamente. Consiste de una plataforma recolectora de cemento u otro material, de un tanque subterráneo de almacenamiento y de una rampa construida dentro de la estructura para que los animales puedan entrar y utilizar el agua al mismo nivel que tiene en el tanque. Fue diseñado para las codornices de valle y ha tenido tanto éxito que en California se han insta-

lado 2,000 de ellos para uso de las codornices Gambel, y en un modelo de mayor tamaño para los venados.

En los proyectos de desarrollo del agua para la fauna necesitamos tener en cuenta que el agua sólo es uno de sus requisitos. El agua sola no hará que aumente el número de codornices, venados, antílopes u otras especies deseables de animales, si los elementos esenciales de alimento y protección son dificientes o inexistentes. Si el ambiente es adecuado para una especie con la sola excepción de falta de agua, es de esperarse que al haberla en abundancia haya un incremento en las poblaciones de animales que ya son reesidentes o que se puedan introducir y que se propaguen a terrenos que no han sido ocupados.

LLOYD W. SWIFT *es jefe de la División de Conservación de Fauna del Servicio Forestal, habiéndose graduado en la Universidad de California, siendo miembro del Servicio Forestal desde 1929.*

Una fauna más abundante en nuestros pantanos y tierras inundadas

Philip F. Allan y Wallace S. Anderson.

NUESTRAS TIERRAS PANTANOSAS son una de las zonas menos conocidas y apreciadas en nuestro país, y sin embargo, de ellas proceden muchos de nuestros productos y goces.

De un pequeño agujero pantanoso, el muchacho de una granja gana su primer dólar con la venta de la piel de una rata almizclada. Los animales de pelo en los pantanos costeros proporcionan una fuente importante de ingresos a muchas familias, y todos los placeres de la caza de aves acuáticas de que disfrutan anualmente más de 2 millones de cazadores, dependen de la producción de patos y gansos en los pantanos que se encuentran tierra adentro en los Estados Unidos de Norteamérica y en el Canadá, y también de los sitios para invernar a lo largo de nuestras costas y en la América Latina.

La necesidad de conservación de los pantanos se está haciendo más y más urgente si se quiere que en los Estados Unidos de Norteamérica se conserve o aumente la producción de animales de pelo y pluma. Las tierras pantanosas han ido disminuyendo en superficie desde los días de la colonia, como resultado de los proyectos de desarrollo industrial, de la urbanización, de los desagües agrícolas y de otras clases, de la sedimentación y del relleno y hundimiento de las zonas costeras. Gran parte de las tierras pantanosas que nos quedan no pueden usarse para fines ordinarios de producción agrícola y, por lo tanto, debemos encontrar otros medios para que sean económicamente útiles.

Las aves acuáticas y los animales de pelo son los principales productos de los pantanos que tengan un valor económico; pero hay muchos otros valores y productos que se relacionan con los pantanos, que son: habitación de una vasta e interesante diversidad de mamíferos, aves, reptiles, peces y otras formas secundarias de vida animal. Los botánicos, tanto aficionados como profesionales, encuentran en los pantanos un gran número de plantas interesantes, y entre los productos comerciales se encuentran los cueros de caimán, las ancas de rana, las tortugas comestibles, el arroz silvestre, la turba, los juncos y espadañas y el heno.

La conservación de los animales de pelo en los pantanos costeros se endereza primordialmente a la producción de ratas almizcladas, que son indudablemente los productores de pieles más importantes. Los pantanos producen también visones, nutrias, mapaches y zorras.

En los zonas del área costera habitadas por las ratas almizcladas hay una planta favorita de ellas que es el junco Olney, conocido también como hierba de tres puntas o triángulo. Las espadañas son muy gustadas de las ratas almizcladas a lo largo de la costa del Atlántico y en la zona del delta de Louisiana. Otras dos especies de plantas de importancia local son el junco de marisma (hierba de follaje de tres puntas o coco), en Louisiana

y Texas, y la paja fina (caña de doncella) en el este de Louisiana. Cada una de esas especies se encuentra en tipos más o menos diferentes de pantanos costeros.

La conservación de los pantanos costeros implica el mantenimiento de un buen plantío de cualquiera de las plantas mencionadas que sea adecuada para el sitio. Con algunas plantas esto es fácil de hacer, pero con otras su manejo es difícil. A fin de cerciorarse de la forma de producir o conservar la clase de vegetación deseada, es necesario conocer las condiciones en que crecen mejor.

Las medidas principales que permiten la conservación de las clases de plantas deseables, son: los incendios controlados y el control de los niveles y salinidad del agua.

Las extensas áreas de pantanos a lo largo de las costas son demasiado secas o demasiado saladas para que sean apropiadas para la producción de animales de pelo, siendo más adecuadas para el pasto del ganado y como zonas de alimentación de los gansos silvestres en invierno.

EL FUEGO ES ÚTIL EN LA CONSERVACIÓN de tierras pantanosas cuando se emplea con cuidado, pero el uso inmoderado del mismo puede causar grandes daños. Los cazadores con trampas a menudo incendian los pantanos y unas veces obtienen buenos resultados, ocurriendo lo contrario en otras, sin que sepan siempre por qué son útiles los incendios controlados.

El fuego es perjudicial para cualquier planta. A fin de poder incendiar en debida forma los pantanos se necesita saber cuál es su objeto y cómo emplear el fuego para obtenerlo. La razón más importante para el incendio de los pantanos consiste en destruir las plantas dañinas que ahogan las benéficas y entonces éstas pueden incrementarse. Los incendios, por lo tanto, deben hacerse en forma tal que no destruyan las especies deseables de plantas. Otra razón menos importante es la disminución de las acumulaciones de materiales muertos de plantas (desechos), a fin de hacer más fácil y completa la caza con trampa. Cuando se efectúa un incendio debe hacerse con conocimiento del tiempo apropiado del año, de las condiciones necesarias para la operación y de los resultados que desean obtenerse.

UN BUEN SISTEMA DE CONTROL de aguas beneficia cualquier pantano. Las zanjas desaguan las cantidades excesivas de agua dulce o salada y permiten también cierta clase de riegos, añadiendo agua dulce o salada que contribuye a que los conservadores de pantanos mantengan en ellos condiciones favorables para las plantas que se desean cultivar. Durante los periodos de sequía las zanjas retienen el agua y ayudan a la supervivencia de las ratas almizcladas, que de otro modo podrían abandonar el área. Estas utilizan los bordos de las zanjas para cavar sus túneles y como refugio durante las inundaciones. Las zanjas permiten también a los cazadores con trampa que se muevan fácilmente a través de los pantanos y que coloquen sus trampas en forma conveniente y completa.

Las zanjas de los pantanos deben diseñarse para que lleguen a los orígenes de las aguas que pueden usarse para riegos. Es indispensable un sistema para bloquear las fuentes, que a menudo puede consistir sencillamente de postes o estacas colocados en el extremo de la zanja. Si es probable que haya grandes cantidades de agua dulce o muy salada, se necesitan compuertas construidas cuidadosamente, y, por lo tanto, serán muy útiles los servicios de un ingeniero agrícola.

Ordinariamente las zanjas de los pantanos costeros necesitan más de 2 pies de profundidad y 4 pies de ancho, y se espacían a distancia de 200 pies hasta un cuarto de milla. Las zanjas se construyen por medio de una draga de cable, de la dinamita, de un tractor de pantanos con arado o en zonas de turbas profundas por medio de un bote dotado de cortadores.

Las represas se usan principalmente para bloquear las aguas indeseables, ya sean dulces o saladas, y pueden construirse también para almacenar agua cuando el nivel natural de ella es demasiado bajo. Ordinariamente las represas deben tener 2 pies de altura después de que se han

hundido, el ancho en su parte superior debe ser de 10 pies y los laterales deben tener un declive de 3 a 1. Pueden necesitarse represas más altas cuando las inundaciones son frecuentes.

Si los pantanos costeros se usan para pastos del ganado y producción de ratas almizcladas, son muy necesarios los andadores. Un andador es una represa construida a través del pantano para permitir que el ganado pase por las áreas inundadas. Las excavaciones de préstamos de las que se toma la tierra para construir el andador, pueden alternarse de un lado a otro de la represa para evitar un desagüe excesivo. Cuando se hace una excavación de préstamo sólo en un lado del andador, como ocurre a lo largo de los linderos de las propiedades, las interrupciones que se dejan a intervalos evitarán la formación de una zanja que desagüe la tierra. Las vías naturales de agua se mantienen abiertas por medio de alcantarillas a través de los andadores. Pueden evitarse las concentraciones de ganado en las tierras valiosas de ratas almizcladas, colocando las excavaciones de préstamo del lado le la represa que queda contigua al área que desea protegerse, extendiéndola bastante a ambos extremos de la misma. Los cercados para mantener fuera el ganado dan protección adicional.

Las zanjas y las represas en los pantanos costeros cuestan ordinariamente de 15 a 20 centavos por cada yarda cúbica de tierra removida, o aproximadamente de 20 a 25 centavos por pie lineal.

Los juncos Olney crecen mejor en donde las aguas de las tierras son ligeramente saladas, y crecerán también en aguas que sean casi dulces, aunque no completamente, así como en agua moderadamente salada. A lo largo de la costa del Atlántico, los juntos Olney ordinariamente se encuentran en sitios a donde rara vez llegan las mareas mensuales más altas, pero en donde la tierra está siempre saturada. A lo largo de la costa del Golfo, las mareas de tormentas ocasionales son las únicas que llegan a las áreas en las que crecen los juncos Olney, y también en ellas la tierra está siempre saturada, encontrándose agua a no más de dos pulgadas arriba o abajo de la superficie. Las tierras pueden ser de turba, de arcilla o de arena.

Si un sitio nunca se incendia o se pasta por el ganado, es probable que se encuentren pocos juncos, debido a que otra planta, llamada indistintamente esparto de pantano, hierba de cubierta o hierba tiesa, crece mejor en esas condiciones y ahoga los juncos Onley.

Los pantanos de juncos Olney deben incendiarse todos los años, excepto durante las sequías. Los incendios deben iniciarse en el Sur aproximadamente a mediados de octubre, terminándolos a mediados de enero. En el Norte los incendios se efectúan a fines del invierno y deben terminarse antes de que se inicie la producción de primavera de las ratas almizcladas jóvenes.

Los incendios sólo deben iniciarse cuando hay aproximadamente una pulgada de agua sobre el suelo. Esos incendios tienden a destruir las coronas del esparto de pantano, pero dejan las raíces de los juncos Olney. Como éstos crecen mejor en tiempo frío se recuperan rápidamente después de los incendios, y el primero de ellos debe limitarse, si es posible, a las dos terceras partes del pantano, incendiándose más tarde el resto. Un sistema bien colocado de zanjas de cazadores o de otras defensas contra el fuego ayuda a controlar la extensión del mismo.

Es mejor utilizar los pantanos para pastos del ganado, pero si se permite el acceso a éste, el pastado debe limitarse a principios de otoño y fines de primavera, ya que puede ser considerable en esas épocas.

A veces los pantanos de juncos Olney reciben demasiada agua salada y pueden aparecer "escaldaduras", o áreas que quedan temporalmente desnudas de toda vegetación. Cuando la salinidad aumenta lentamente, la vida de las plantas cambia gradualmente, aumentando el esparto liso (caña marina o hierba de ostión), la hierba salada costera y el junco de aguja (junco negro y paja de tigre). El primer paso para corregir esa situación consiste en interrumpir la fuente de agua salada, y esto puede hacerse bloqueando las vías de agua que conducen al pantano, o si

esto es imposible, construyendo represas que impidan la entrada del agua salada. En casos extremos pueden necesitarse estructuras de control del agua que permitan desaguar el agua salada y retener el agua dulce.

Cuando el agua de la tierra es muy dulce, los juntos Olney crecen con dificultad y aumentan las espadañas, hierba de sierra, hierbas cortadas o puntas de flecha, lo que indica ordinariamente demasiada agua dulce. Esta situación ocurre cuando las aguas de desagüe de las áreas de las tierras altas se vacían en los pantanos o cuando el desagüe natural es tan deficiente que permite la acumulación de agua dulce. Ordinariamente esto puede corregirse abriendo las zanjas a una fuente de agua salada, y en sitios donde las carreteras, represas u otras obstrucciones tienden a estancar el agua dulce, se necesitan cortes o alcantarillas para ayudar a desaguarla. En casos extremos podría necesitarse el bloqueo o desviación de las fuentes de agua dulce. El buen desagüe es importante en los pantanos de turbas profundas, ya que éstos se vuelven más firmes y adecuados para los juncos Olney. Se necesita también el desagüe a fin de hacer más firmes los pantanos si las ratas almizcladas o los gansos silvestres se alimentan excesivamente en ellos. Los cazadores con trampa llaman ordinariamente agotamiento a esas situaciones.

LAS ESPADAÑAS CRECEN MEJOR cuando el agua de la tierra es muy dulce, pero algunas de ellas crecen en aguas moderadamente saladas. Estas plantas ocurren donde las profundidades del agua varían desde el nivel del suelo hasta aproximadamente dos pies sobre el mismo, y medran ya sea en tierras minerales o de turba. Otras plantas, tales como los juncos de tallo largo, las hierbas cortadas gigantes, las puntas de flecha y las hierbas de sierra, crecen a veces en los mismos sitios; pero solo las hierbas de sierra compiten seriamente con las espadañas, y esto generalmente solo ocurre en las tierras de turbas profundas.

En los pantanos costeros de aguas dulces y profundas adecuados para su crecimiento, las espadañas acaban ordinariamente con otras plantas. Necesitan muy pocos cuidados especiales, a menos de que queden destruidas por el fuego, el ganado, o que queden escaldadas por la sal. A lo largo de la costa del Golfo la hierba de sierra de Jamaica puede requerir control en los pantanos de espadañas, y un fuerte incendio en una área de hierbas de sierra durante una estación de sequía, y especialmente antes de una tormenta en el Golfo, puede destruir esas hierbas. Puede obtenerse la conversión de la vegetación a otras clases más deseables si se puede hacer penetrar el agua salada a las áreas de hierbas de sierra por tiempo suficiente para escaldar las plantas y permitir que puedan cortarse.

Los pantanos de espadañas a lo largo de la mayoría de la costa del Golfo son malos productores de ratas almizcladas, aunque producen nutrias. Sin embargo, en la costa del Atlántico esos producen cosechas valiosas de ratas almizcladas. Las medidas de conservación más importantes son: la protección contra el ganado, la prevención del pastado excesivo por las ratas almizcladas y la construcción de zanjas niveladas o ciegas. Se usan ocasionalmente los incendios para remover el material de plantas muertas, pero esto sólo debe hacerse cuando el agua cubre las coronas de las raíces de las espadañas.

Los pantanos de espadañas rara vez requieren medidas de control de agua, a menos que otras plantas comiencen a reemplazarlas. Las invasiones de espartos, cañas comunes y otras plantas tolerantes a la sal son síntomas de que el sitio se está volviendo demasiado salino. Deben bloquearse entonces las fuentes de agua salada o debe nivelarse el pantano para almacenar agua dulce. El reemplazo de las espadañas por hierbas de panículo, hierbas cortadas gigantes o arbustos, es un indicio de que el sitio se está volviendo demasiado seco y la obstrucción de las vías de desagüe, la construcción de represas o la inundación con agua dulce constituyen los medios de preservación de las espadañas en los pantanos que se resecan.

EL JUNCO DE MARISMA CRECE en tie-

rras de turba en las que el agua de la tierra es bastante salada y medra en las tierras húmedas, aunque no requiere agua estancada. A lo largo de la costa del Atlántico la planta tiene relativamente poca importancia, pero en el Golfo las áreas de juncos de marisma producen grandes cantidades de ratas almizcladas.

En la mayoría de sus aspectos, la conservación de las ratas almizcladas en las áreas de juncos de marisma es muy semejante a la de los pantanos de juncos Olney. Los incendios para controlar los espartos de heno de marisma se hacen en la misma forma; pero después de mediados de febrero en el Sur, y de 2 a 3 semanas después de que se inicia el crecimiento de las plantas en el Norte. Este junco crece mejor en primavera.

El aumento de la salinidad del agua del suelo no es muy importante en las áreas de juncos de marisma. El incremento en la profundidad del agua puede causar la invasión de los espartos lisos, una planta alimenticia aceptable para las ratas almizcladas. Los pantanos que se resecan pueden quedar invadidos por espartos gruesos, cañas comunes, hierbas de resumidero de hoja ancha, bácaris oriental o esparto del Golfo en Louisiana y Texas. La aparición de estas plantas es un indicio de que debe retenerse más agua en el pantano.

La paja fina es una hierba de pantano dulce que puede destruirse fácilmente con agua salada. En el este de Louisiana los pantanos de paja fina son importantes productores de ratas almizcladas. La hierba crece bien en tierras minerales, pero lo hace mejor en turbas flotantes que se conocen localmente como "flotaciones". Cuando la paja fina se pasta con exceso por el ganado o se incendia, pueden reemplazarla otras hierbas menos deseables, y no prosperará en agua que tenga unas cuantas pulgadas sobre la corona de las raíces, muriendo en tierras que no sean húmedas.

Se conoce muy poco sobre los cuidados que requieren los pantanos de paja fina. La hierba suministra buen forraje para el ganado y se usa extensamente con ese objeto. Cuando esos pantanos se usan para la producción de ratas almizcladas, las dos principales medidas necesarias de conservación son la prevención del pastado excesivo por las ratas almizcladas y el cuidadoso control de los incendios, especialmente durante los períodos de sequía, debiendo evitarse, si es posible, que el agua salada cubra los pantanos. La inundación permanente de los pantanos de paja fina con agua dulce en tierras minerales a profundidades de 4 pulgadas o más, destruirá la hierba.

EL CUIDADO DE LAS PLANTAS y el manejo del agua son las principales características permanentes de la producción de ratas almizcladas. En gran número de localidades los biólogos estatales han encontrado que el control de los mapaches, cuando son extraordinariamente abundantes, produce mejores cosechas de ratas almizcladas, y éstas deben cazarse intensamente en los años de abundancia, y muy ligeramente, si acaso, durante los períodos de escasez.

LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES acuáticas en los pantanos costeros depende principalmente de aumentar las áreas de agua abiertas y desarrollar y conservar clases deseables de plantas. Contrariadamente a lo que se cree, las praderas costeras densamente cubiertas con plantas vírgenes de pantano, no son de gran valor para las aves acuáticas. Las lagunas, bahías, represiones y corrientes dentro de los pantanos comprenden gran parte del área frecuentada por los patos y gansos. Sin embargo, cuando los sitios pantanosos densamente cubiertos de vegetación se han inundado, incendiado o pastado en exceso, a menudo se convierten en mejores sitios para las aves acuáticas.

A lo largo de las costas del Atlántico y del Golfo hay cientos de miles de acres de tierras pantanosas que no pueden tener probabilidades de usarse para la producción de cosechas de forrajes para el ganado, pero que pueden destinarse y desarrollarse como habitación de las aves acuáticas.

Las áreas de aguas cubiertas en los pantanos, se crean principalmente reteniendo las aguas, bloqueando las vías de desagüe o incendiando las áreas de tur-

bas profundas. La mayoría de los refugios costeros de las aves acuáticas y muchos de los clubes privados de caza, han demostrado el éxito del almacenamiento de aguas como medio de crear pantanos para los patos. El almacenamiento ideal es aquel en que el agua puede controlarse cuidadosamente. Las mejores estructuras de control impiden la entrada a los altos niveles de agua, ya sea salada o dulce, cuando no son deseables, permiten un desagüe bastante completo y retienen de 6 a 18 pulgadas de agua cuando se necesita. Esas retenciones son costosas y ordinariamente exigen la supervisión de un ingeniero competente. En las áreas productoras de arroz, la retención puede tener el doble fin de almacenar las aguas de desagüe durante la estación de invernada de las aves acuáticas y de servir como fuente de aguas de riego en verano.

Los pantanos pueden desaguarse parcialmente bloqueando las vías de desagüe naturales por medio de compuertas de inundación u otras barreras. La remoción de las obstrucciones al flujo del agua y la desviación de las aguas de desagüe a pantanos adecuados son también un medio de inundación.

Las áreas de turbas profundas a menudo hacen buenos parajes para las aves acuáticas cuando los incendios producen agujeros, lo que ocurre cuando los pantanos se encuentran ordinariamente secos. Los profundos incendios de los pantanos constituyen riesgos graves, debido a la dificultad de mantener el fuego dentro de los límites del área que va a mejorarse.

Entre los principales beneficios obtenidos con las inundaciones se encuentra la destrucción de los densos y altos crecimientos de plantas que tienen poco valor para las aves acuáticas y que pueden ser reemplazadas con especies mejores. En los pantanos en donde puede controlarse el agua, la remoción de ésta durante la estación de crecimiento permite un ligero cultivo de las plantas valiosas para aumentar su producción, o la siembra de esas especies si no se encuentran presentes.

En casi todos los pantanos costeros es necesaria alguna alteración de las vegetación, a fin de obtener condiciones satisfactorias para las aves acuáticas, y se necesitan tratamientos más serios en los pantanos de ratas almizcladas. Cuando pueden pastarse los pantanos, el ganado ayuda a producir condiciones favorables para las aves acuáticas. El excesivo pastado en primavera, hasta el grado de que se destruyan las plantas más altas y vigorosas, produce el incremento de las plantas más deseables, y los pantanos donde se cazan gansos se mejoran con este método.

Cuando los pantanos no pueden pastarse, a menudo pueden mejorarse mediante incendios controlados. El incendio de los pantanos para que sean habitados por las aves acuáticas difiere del destinado a los animales de pelo. El fuego necesita ser más caliente y completo, y es mejor hacerlo en primavera o a principios del verano. Los niveles de agua deben estar en la superficie del suelo o ligeramente debajo de ella.

Los pantanos costeros rara vez necesitan sembrarse, a fin de producir buenas condiciones para las aves acuáticas. Ordinariamente se encuentran presentes tantas clases de plantas que sólo es necesario crear condiciones favorables para tener plantíos suficientes. Sin embargo, no sabemos todo lo que se necesita para esa conservación, excepto el principio de disminuir la competencia de las especies menos valiosas, y esto puede hacerse mediante los métodos que hemos descrito.

La siembra puede ser útil en sitios en donde la tierra está relativamente desnuda, suficientemente seca para someterse a labranza ligera y suficientemente húmeda para que germinen las semillas. Las plantas cuyo cultivo de semilla es más seguro, son: el pimiento acuático, la hierba de granero y los mijos, que pueden sembrarse por esparcimiento a razón de 15 a 30 libras de semillas por acre, rastreándose luego ligeramente. Si las condiciones son adecuadas para sembrar con perforaciones, la proporción de semillas pueden disminuirse en la tercera parte. Las leyes federales prohiben la siembra de especies de plantas cultivadas, tales como maíz, trigo y arroz, con el fin de atraer aves acuáticas a los sitios de caza.

LAS PLANTAS COMUNES DE LOS PANTANOS costeros que son de gran valor como alimento para aves acuáticas, incluyen hierbas de estanque, apio silvestre, hierbas de pato, pimiento acuático, escudos de aguas, lirios de agua, juncos de espiga, náyades y junco de pico, y ciertos juncos tienen también algún valor. Las plantas de poco valor para las aves acuáticas, que crecen a menudo en abundancia, son: las cañas comunes, las hierbas de esparto, las espadañas, las hierbas cortadas gigantes, los juncos, las hierbas saladas, las hierbas de resumidero, la hierba de caimán, la cola de mapache y el jacinto de agua.

Las puntas de flecha y las hierbas de sierra suministran semillas que gustan a los patos, pero a menudo esas plantas crecen en plantíos demasiado densos para permitir buenos pantanos para esas aves.

EN LOS PANTANOS COSTEROS la producción de ratas almizcladas es mucho más importante desde un punto de vista económico que la producción de visones o mapaches.

Las ratas almizcladas son más capaces de convertir la vegetación de los pantanos en un producto útil, que los cerdos, ganado u ovejas. La piel producida por las ratas almizcladas es más valiosa que las pequeñas cantidades de carne o leche que pudieran obtenerse mediante el pastado del ganado doméstico. Además, es menos probable que los animales que pastan contraigan enfermedades y adquieran parásitos si se les excluye de los pantanos.

Las mejores plantas para las ratas almizcladas en los pantanos de tierra adentro, son: las espadañas, punta de flecha o papas de pato, junco de cardo, juncos comunes y banderas. Todas ellas crecen en pantanos que tienen niveles de aguas desde la superficie de la tierra o cerca de ella hasta dos pies sobre la misma.

Muchos pantanos tienen gran cantidad de plantas alimenticias para las ratas almizcladas; pero cuentan con aguas tan poco profundas que esos alimentos no quedan disponibles para las ratas almizcladas en invierno, cuando los pantanos se congelan totalmente, viéndose entonces las ratas obligadas a emigrar en busca de algo que comer y perdiéndose la mayoría de ellas debido a los ataques de las aves de rapiña.

No deben pastarse los pantanos que se utilicen para la producción de ratas almizcladas. Las pezuñas de los animales que pastan penetran a menudo a través de la delgada capa de tierra que existe entre la superficie y las madrigeras de las ratas, y entonces éstas tienen que construir de nuevo. Ese exceso de construcción es especialmente perjudicial a lo largo de las zanjas niveladas, porque cada nueva madriguera añade más sedimento a los lechos de las zanjas y acelera la necesidad de limpiarlas.

El fuego se usa rara vez en los pantanos que se encuentran tierra adentro, aunque pueden utilizarse ocasionalmente para eliminar las plantas leñosas que han invadido el pantano durante una serie de años de sequía. Sin embargo, en esas condiciones ordinariamente se obtienen mejores resultados extrayendo o arrancando las plantas leñosas durante el invierno o empleando herbicidas durante la estación de crecimiento.

Puede usarse el fuego en pantanos sin zanjas para eliminar las acumulaciones de vegetación muerta que impiden las operaciones de caza con trampa. Sólo debe usarse para este fin cuando sea necesario, y solamente cuando el nivel de aguas esté lo suficientemente alto para proteger las coronas y raíces de las plantas.

LAS ZANJAS NIVELADAS SON UNA PRÁCTICA eficaz y económica en los pantanos poco profundos.

El Departamento de Conservación de Wisconsin, en las investigaciones efectuadas en el pantano Horicon entre 1949 y 1953, probó espaciamientos de zanjas de 50, 100, 200 y 400 pies, llegando a la conclusión de que las zanjas colocadas a intervalos de 200 pies producían los mayores beneficios si se considera conjuntamente la inversión y la producción de ratas almizcladas.

Una paralela de 10 acres con zanja espaciada a 200 pies produjo 554 ratas almizcladas en el período de 5 años que

duró el experimento, o sea una cosecha anual promedia de 11.1 ratas almizcladas por acre, y de 23.8 ratas almizcladas por cada 100 dólares invertidos en las zanjas.

Un análisis económico, basado en la producción de ratas almizcladas obtenida con el espaciamiento de 200 pies, usando un valor promedio de 1.47 dólares por piel y de 10 centavos por cada cuerpo, indica una entrada anual de 12.68 dólares por acre, después de deducir gastos de mano de obra, equipo, depreciación, impuestos, mantenimiento e intereses sobre la inversión. Las entradas brutas anuales por acre fueron de 17.43 dólares, y las entradas netas, más utilidad de mano de obra, fueron de 14.51 dólares anuales por acre. La inversión inicial en zanjas niveladas fue de 46.5 dólares por acre, y la proporción de intereses obtenidos en la inversión de capital fue de 31.2%.

Las zanjas niveladas no tienen declive ni necesitan salidas. No desaguan el pantano, sino que sencillamente crean aguas más profundas que hacen que las ratas almizcleras tengan alimentos disponibles durante el invierno. Los bordos de refuerzo proporcionan también sitios para construir madrigueras y ofrecen cierto grado de seguridad, impidiendo que se ahoguen durante las inundaciones.

La construcción de zanjas niveladas es factible en tierras de turba o de desechos vegetales, así como en tierras minerales medianas o pesadas. Esas zanjas no se recomiendan en sitios donde haya tierras arenosas ligeras. Las zanjas deben tener de 5 a 6 pies de profundidad en el Norte; de 4 a 5, en los estados del centro, y de 3 a 4, en el Sur. Las zanjas niveladas deben tener un ancho de 12 a 20 pies y los bordos de refuerzo deben tener una altura de 3 a 4 pies, colocándose en lados alternados de la zanja a intervalos de 50 pies. Una meseta aproximadamente de 6 pies de ancho entre las orillas de la zanja y del bordo de refuerzo impedirá que el peso de éste hunda los lados de los bordos de la zanja.

Una draga de cable es el equipo más conveniente para la construcción de zanjas niveladas. Se ha probado la dinamita, pero no cuesta menos que el empleo de dragas de cable y es difícil de obtener la profundidad deseada. La dinamita no permite la construcción de bordos de refuerzos, que son muy importantes para proporcionar sitios de madrigueras para las ratas almizcladas.

Deben evitarse las zanjas largas y rectas, porque los vientos que soplan a lo largo de ellas pueden producir oleajes que hagan difícil el manejo de un bote. La acción de oleaje puede causar también erosión y sedimentación. Se recomiendan cambios de dirección mediante un patrón de zigzag a intervalos de 200 pies.

La caza con trampa en las zanjas niveladas es relativamente fácil. Las trampas se colocan desde los botes, lo que evita la necesidad de cargarlas a través de la espesa vegetación de los pantanos.

A menudo el control de los niveles de agua proporciona el método más económico para mejorar los pantanos costeros para la producción de ratas almizcladas; pero ese método se limita a aquellos pantanos que tienen un suministro de agua continuo, como un arroyo o manantial de flujo abundante.

El control de los niveles de agua requiere ordinariamente la construcción de diques de tierra a la salida del pantano y en aquellos puntos que sean necesarios para proteger las tierras de granja adyacentes contra las inundaciones, cuando suben los niveles de agua en el pantano. Se necesita también cierto tipo de estructura, ordinariamente de concreto o de madera creosotada, que permita que se varíen los niveles de agua en el pantano, desde 6 pulgadas a 2 ó 3 pies sobre la superficie del suelo.

Los niveles de agua deben mantenerse aproximadamente a 6 pulgadas durante la estación de crecimiento para proporcionar las mejores condiciones de crecimiento para las plantas que constituyen el alimento de las ratas almizcladas. Cuando éstas comienzan a construir madrigueras, deben elevarse gradualmente los niveles de agua hasta 3 pies en el Norte; 2 pies, en los estados del centro, y 1 pie, en aquellas localidades dode rara vez ocurren heladas.

La elevación de los niveles de agua en el otoño y la conservación de esos altos niveles durante todo el invierno,

es necesaria para impedir que los pantanos se congelen totalmente y para asegurarse de que las ratas almizcladas tengan alimentos en todo tiempo.

La producción de aves acuáticas en los pantanos que se encuentran tierra adentro es muy importante para conservar las poblaciones de ese valioso recurso. La producción de aves acuáticas en las tierras de granjas casi siempre se hace en las áreas acuáticas que no son adecuadas para otros usos, o es consecuencia del empleo de las tierras húmedas que se conservan primordialmente para la producción de ratas almizcladas, agua para el ganado o almacenamiento de agua. Debido a la naturaleza migratoria de las aves acuáticas, generalmente es práctica económica para los agricultores la conservación de los pantanos exclusivamente para las aves acuáticas, si pueden vender licencias de caza.

No se recomiendan las zanjas niveladas ecxlusivamente para la producción de aves acuáticas, pero ésta aumenta con esa práctica.

Las investigaciones efectuadas por el Departamento de Conservación de Wisconsin en el pantano de Horicon en 1952 y 1953, demostraron que los bordos de refuerzo de las zanjas niveladas construidas en 35 acres tenían 24 nidos de aves acuáticas en 1952 y 51 nidos en 1953. Los porcentajes de anidamiento fueron de 46% en 1952 y 20% en 1953.

Se creía que las aves de rapiña, y especialmente los mapaches, eran responsables de los porcentajes de anidamiento relativamente bajos. Las investigaciones indican que las zanjas niveladas concentran tanto las aves acuáticas como las de rapiña en una área relativamente pequeña, y que es indispensable un control completo de las aves de rapiña para obtener un elevado porcentaje de anidamiento.

El control de los niveles de agua puede ayudar a aumentar la producción de aves acuáticas en los pantanos que se encuentran tierra adentro si hay un suministro continuo de agua. Hay dos métodos de conservación:

El que tiene más probabilidades de que aumente la producción de aves acuáticas consiste en mantener una profundidad uniforme de 18 a 30 pulgadas de agua durante todo el año. Esa práctica favorece el crecimiento de hierbas de estanques, apio silvestre, cola de mapache, hierbas de pato, hierbas de almizcle y papas de pato. Suministra también áreas de cortejo en primavera y puede proporcionar una área de procreación en el verano.

Otro método consiste en desaguar el agua durante la primavera, a fin de mantener la tierra en condiciones de saturación durante la estación de crecimiento. La tierra debe quedar mojada, pero tiene que haber un mínimo de agua en la superficie. Esa práctica de conservación favorece el crecimiento de hierbas de ortiga, mijos silvestres y juncos de cardo. El nivel de agua debe elevarse a 18 pulgadas en otoño para que las aves acuáticas tengan alimentos disponibles. No es probable que este método ayude al anidamiento de las aves acuáticas o a la producción de ratas almizcladas, y su valor primordial consiste en la creación de una buena caza de aves acuáticas.

PHILIO F. ALLAN *es biólogo del Servicio de Conservación de Tierras en los estados del Nordeste, con oficinas en Ithaca, New York, habiéndose graduado en las Universidades de New Hampshire y Michigan.*

WALLACE L. ANDERSON, *graduado en la Universidad de Minnesota, es biólogo del Servicio de Conservación de Tierras en los Estados de la Zona Productora de Maíz con oficinas en St. Paul, Minnesota, habiéndose unido al Departamento de Agricultura en 1935.*

Las aves acuáticas y las depresiones de los estados centrales del Norte

Thomas A. Schrader.

LAS DEPRESIONES Y AGUJEROS de las regiones de pradera en Minessota y las Dakotas, el área de anidamiento de aves acuáticas más importante en los Estados Unidos de Norteamérica, puede haber producido en el pasado 15 millones anua-

les de patos. Actualmente sólo produce aproximadamente 5 millones, y el desagüe es el principal responsable de esta enorme diferencia.

La naturaleza hizo de ella una región ideal para que anidaran las aves acuáticas. Está cubierta de gran número de depresiones poco profundas, agujeros, lodazales y pantanos que retienen el agua durante unas cuantas semanas a principios de primavera o durante todo el verano. Esos agujeros y depresiones son de todos tamaños y formas. Algunos cubren una superficie de 100 acres o más, aunque la mayoría sólo tienen menos de 10 acres.

Hemos oído hablar de los días en que las bandadas de patos y gansos eran tan numerosas que oscurecían el cielo durante las migraciones de primavera y otoño entre los sitios de invernada en el Sur y las áreas de anidamiento de verano en el Norte, pero esto ya no se ve más. La alarmante disminución de las poblaciones de aves acuáticas se produjo cuando la labranza trajo aparejado el desagüe de las áreas inundadas y destruyó más de la mitad del área de anidamiento de patos en la región de depresiones de pradera. El maíz y trigo adicionales producidos como consecuencia del desagüe pueden considerarse como utilidad en la cuenta de dólares y centavos; pero, en cambio, nos han empobrecido en nuestros recursos de aves acuáticas, cuyos resultados se llevan en libros diferentes.

Para calcular el valor de los desagües posteriores hay que considerar otros dos factores: Primero, como la tierra que podía desaguarse más económicamente lo ha sido ya, es probable que todo desagüe ulterior sea más difícil y menos benéfico. Segundo, con el aumento de la demanda y la disminución de los suministros, los patos tienen ahora un valor mucho mayor. En los días de los precursores, el valor de un pato se expresaba en centavos por libra; pero actualmente los valores de las aves acuáticas no han encontrado su verdadera expresión tras un signo de dólares, ya que tienen valores recreativos, sociales y culturales que hacen que su carne adquiera valores que parecen casi incongruentes.

Podría argüirse que bien podríamos pasarnos sin patos, porque sólo una pequeña parte de la población se interesa en este recurso. Ese razonamiento, sin embargo, nos llevaría en forma igualmente lógica a argüir que Norteamérica podría pasarse también sin orquestas sinfónicas, parques zoológicos, parques nacionales, áreas selváticas y muchas otras características que se utilizan o disfrutan por una proporción relativamente pequeña de los habitantes, y el solo hecho de su existencia indica que en nuestro país reconocemos que hay cosas más importantes que el pan.

Debido a la importancia de las aves acuáticas migratorias, nuestro gobierno ha asumido la responsabilidad legal de proteger e incrementar este recurso mediante tratados con México y Canadá. Reconociendo el valor de dicho recurso, tanto económico como cultural, y comprendiendo la importancia de nuestras obligaciones legales para proteger la migración de las aves acuáticas, los conservadores se han preocupado hondamente del efecto de las explotaciones ulteriores de las tierras húmedas de los Estados Unidos de Norteamérica de las que depende la existencia de las aves acuáticas.

El desagüe en la región de depresiones de las praderas es una preocupación especial, porque esa área queda dentro del territorio de anidamiento de muchas especies de aves acuáticas y cualquier pérdida de ella es una pérdida crítica de medios de habitación para la procreación. La región de depresiones de las praderas se encuentra en North Dakota, Minnesota e Iowa, sometiéndose por primera vez a operaciones de labranza después de la Guerra Civil. Entre 1870 y 1930 se desaguaron prácticamente todas las tierras húmedas de Iowa, de la faja Sur de los condados de Minnesota y del Valle del Río Rojo en North Dakota y Minnesota. Sus tierras profundas y planas les daban mayor potencial para la agricultura.

La tendencia en el desarrollo de la utilización de la tierra se invirtió durante la década de 1930. Se retiraron de la producción millones de acres de tierra en todo el medio Oeste en un intento de

disminuir los excedentes de las cosechas. Al mismo tiempo la sequía más grave durante los últimos 100 años hizo del agua uno de los recursos más preciados en esa región. El desagüe cesó casi por completo y tanto el Gobierno Federal como los estatales gastaron millones de dólares para su conservación. El Servicio de Pesca y Fauna, y muchos de los departamentos estatales de conservación, adquirieron muchas empresas de desagüe a fin de obstruir las zanjas, conservar el agua y restaurar el ambiente de los pantanos para las aves acuáticas y animales de pelo.

Todos aquellos que participaron en los programas de conservación de agua de la década de 1930 quedaron aterrados al descubrir poco tiempo después de la terminación de la Segunda Guerra Mundial que el desagüe asumía nuevamente proporciones considerables en una región en la que poco tiempo antes el agua era tan valiosa.

Pronto se hizo evidente que el desagüe se estaba convirtiendo en una bola de nieve. Bajo el ímpetu de los elevados precios en las granjas y de los subsidios federales, había un incentivo natural para cultivar cada acre, y aparecieron nuevas zanjas de desagüe en gran número en toda la región de depresiones.

Las inspecciones preliminares efectuadas por el Servicio de Pesca y Caza del Departamento del Interior en los años de 1948 y 1949, establecieron tres hechos salientes sobre el desagüe en la zona de depresiones:

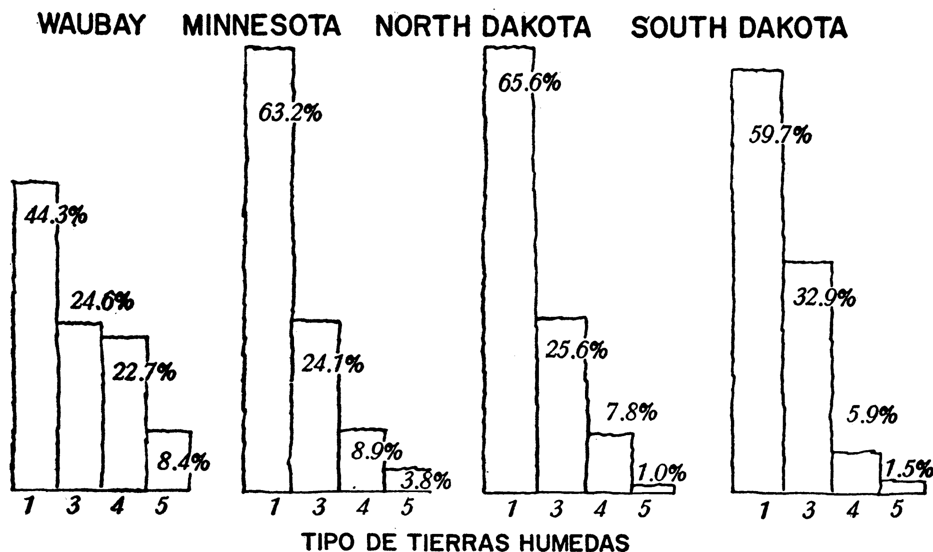
1º El desagüe era práctica agrícola creciente y muy extendida, subsidiada por el Gobierno Federal, sin tener en cuenta sus efectos sobre las aves acuáticas, animales de pelo, pájaros ribereños y otra fauna.

2º Generalmente se consideraba la región como muy importante para la producción de aves acuáticas, pero había mucho que aprender sobre el valor específico de los diversos tipos de las pequeñas áreas de agua para las aves acuáticas y otra fauna.

3º En la mayoría de los casos, las agencias agrícolas sostenían que el desagüe que se hacía bajo su supervisión era benéfico o natural en sus efectos sobre la fauna.

Debido a la gravedad de la situación, el Servicio de Pesca y Fauna inició un estudio sobre las condiciones de las aves acuáticas en la región de depresiones.

ESE ESTUDIO TENÍA POR OBJETO determinar la importancia de esa zona en la



Abundancia relativa de los tipos de tierras húmedas.

producción continental de aves acuáticas, la utilización que éstas hacían de los diversos tipos de áreas de agua, la distribución y número de ellas en la región y la proporción en que las mismas se estaban desaguando. Se esperaba que si los resultados del estudio demostraban que valía la pena conservar esa área de producción de aves acuáticas, se hallaría la manera de hacer que los terratenientes preservaran sus tierras húmedas.

Originalmente la región de depresiones de pradera cubría aproximadamente 115,000 millas cuadradas. El desagüe ha eliminado más de la mitad de los sitios de habitación de las aves acuáticas y actualmente solo quedan aproximadamente 56,000 millas cuadradas en North Dakota, South Dakota y Minnesota, que contribuyen de modo significativo a la producción de aves acuáticas.

Las tierras del área son de castaño, Chernozem (tierra negra) o de pradera, y han sido destinadas a cosechas de surcos, pequeñas gramíneas, heno y forrajes.

En toda el área le glaciación ha depositado materiales progenitores de diferentes gruesos. La topografía varía desde valles fluviales planos a morrenas escarpadas. En las áreas de morrenas el desagüe natural no ha quedado bien establecido, y es en ellas donde son más numerosos los lagos y depresiones.

Los promedios de temperatura en julio varían de 66° en el noroeste de North Dakota, a 72° en el sudoeste de South Dakota y sudoeste de Minnesota. La precipitación anual tiene un promedio de 16 pulgadas en la mayor parte del oeste de North Dakota, y de 24 pulgadas o más en el este de South Dakota y oeste de Minnesota. Las tierras tienen una fertilidad elevada, y en la región ondulada de depresiones son poco profundas y propensas a la erosión. Esta y la humedad insuficiente son los principales problemas agrícolas.

El número de áreas de agua en la región de depresiones varía de día en día. Las inspecciones aéreas efectuadas por los estados con ayuda federal de los fondos para la restauración de la fauna, han dado informaciones valiosas sobre la abundancia y distribución de esas áreas de agua en primavera. Las inspecciones dieron un total aproximado de 664,000 depresiones en North Dakota, que cubrían 2.152,000 acres, y de 422,000 depresiones en South Dakota, que cubrían 817,000 acres, así como 124,000 depresiones en el sur y oeste de Minnesota, que cubrían 1.464,000 acres, o sea un total de 1.210,000 depresiones que cubrían un total de 4.450,000 acres.

Su número y superficie varían considerablemente en el curso del año como resultado de las pérdidas naturales de agua o de las lluvias abundantes. En North Dakota, las 664,000 superficies de agua que existían en primavera habían disminuido a 260,000 para fines del verano, o sea una reducción de 59%, desde más de 9 depresiones por milla cuadrada en primavera a menos de 4 en el otoño.

Esas depresiones no están repartidas uniformemente, sino que varían desde unas cuantas hasta más de 150 por milla cuadrada. Independientemente del número de millas cuadradas, la asociación o comunicación de esas depresiones en esa área fértil es lo que las hace que constituyan la mejor región productora de aves acuáticas en los Estados Unidos de Norteamérica.

Los estudios de la cantidad de desagüe en la región de depresiones se llevaron a cabo en 1950 y 1951, y sus resultados confirmaron los temores de que el desagüe se hubiera extendido considerablemente y que estuviera reduciendo la de agua en la región. En un muestreo de 19 municipalidades en la parte central del oeste de Minnesota, que contenía forma significativa el número de áreas 14.2 depresiones por milla cuadrada, se desaguaron 2.75 de ellas por milla cuadrada entre 1945 y 1950, lo que equivalía al desagüe del 16% de las áreas de agua durante ese periodo de 5 años. En una área de estudio en South Dakota, para 1950 se había desaguado el 11% de la superficie húmeda original.

En los tres estados, a base de datos de desagüe contenidos en los registros de la Administración de Producción y Mercados, se desaguaron, en 1949 y 1950,

64,000 depresiones, con una superficie combinada de 188,000 acres. Como se hicieron algunos desagües adicionales con la ayuda de pagos de subsidio, la cantidad total fue mucho mayor, y en años recientes se ha desaguado anualmente más del 2% de las tierras húmedas sobrantes en los tres estados. Si continúa esa tendencia, podrían eliminarse en 30 ó 50 años todas las tierras húmedas de la región de depresiones de pradera. No todas ellas pueden desaguarse económicamente, pero el desagüe puede hacerse en cantidad suficiente para perjudicar seriamente o acabar con la producción de aves acuáticas en ella.

SE ESTUDIÓ INTENSAMENTE la importancia de las depresiones para las aves acuáticas durante los 4 años de investigación. Sabiendo que existían más de un millón de ellas en la región, fue necesario determinar los usos que las aves acuáticas hacían de esas depresiones. Gran parte de esas investigaciones se efectuó en una área de estudios de 11 millas cuadradas cerca de Wanbay, en el condado de Day, South Dakota. La localidad de Waubay es típica de gran parte de la región de depresiones y agujeros de North Dakota y South Dakota, siendo pendiente y ondulada gran parte de la tierra. Las tierras son relativamente ligeras y a menudo pedregosas. Las cosechas de granja consisten primordialmente de pequeñas gramíneas y cortas cantidades de heno y forrajes. En esa área hay, por lo menos, 390 depresiones que contienen agua que cubren 1,055 acres y que varían considerablemente de tamaño, profundidad y vegetación.

LAS AVES ACUÁTICAS hacen diverscos usos de las áreas de agua con características diferentes. Las tierras bajas de la región de depresiones se clasificaban de acuerdo con un sistema establecido por un comité de clasificación de tierra húmedas del Servicio de Pesca y Fauna, habiéndose encontrado los siguientes tipos:

1º *Areas intermitentes.* Depresiones poco profundas que contienen agua estancada sólo durante unos cuantos días de las primaveras húmedas o después de lluvias abundantes, y que generalmente no tienen más de 20 pulgadas de profundidad en cualquier tiempo. Siempre están secas para el 1º de junio y muchos años están secas durante toda la estación. Muy pocas de ellas tienen efecto alguno en la producción de cosechas, con excepción de que demoran la siembra en años de desbordamientos abundantes.

2º *Pantanos temporales.* Depresiones poco profundas que ordinariamente contienen agua solo durante unas cuantas semanas en primavera y después de las lluvias abundantes. Pueden retener el agua durante todo el mes de junio y principios de julio en años de abundantes desbordamientos, y pueden contener hasta 24 pulgadas de agua en las primaveras de años con abundantes desbordamientos, o quedar completamente secas después de un invierno abierto. En años secos o moderados pueden cultivarse cosechas en esas áreas, pero en años húmedos se inundan por demasiado tiempo para que puedan cultivarse.

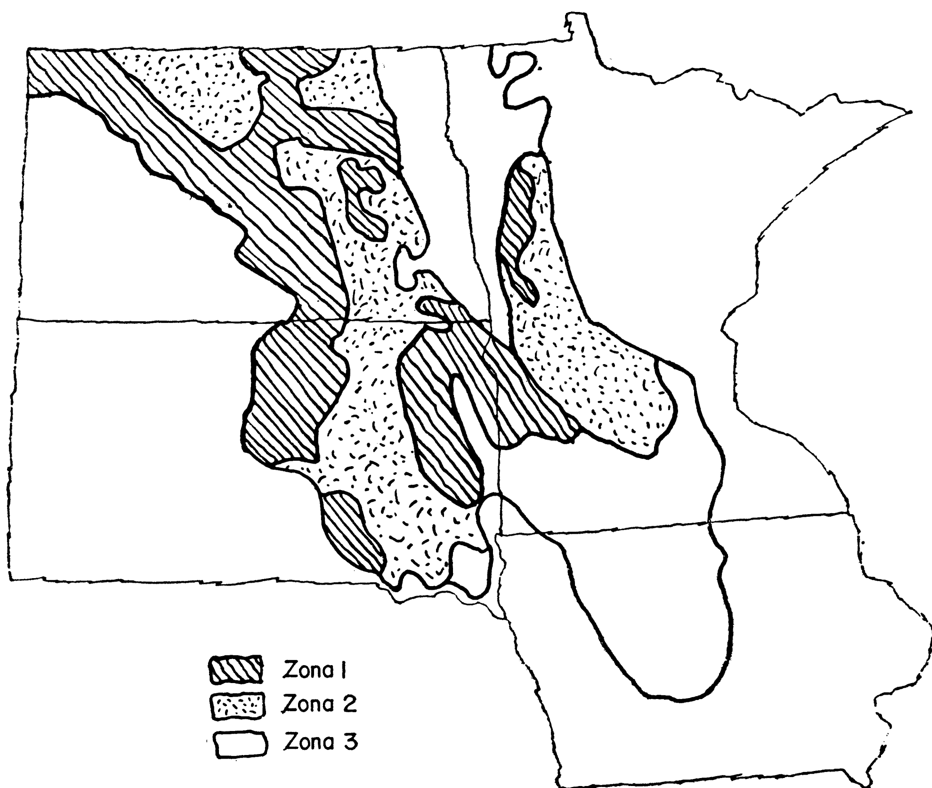
3º *Pantanos poco profundos.* Comúnmente contienen hasta 30 pulgadas de agua en primavera, y la retendrán durante el mes de junio en años húmedos. Algunas de esas áreas no retienen agua en los años que tienen una precipitación inferior a la normal y todas son demasiado húmedas para cultivarse en años con desbordamientos casi normales.

4º *Pantanos profundos.* Estas áreas retienen hasta 48 pulgadas de agua en primaveras húmedas y a menudo la conservan durante todo el año. En años secos la mayoría de ellas se secan a veces durante el verano, pero casi siempre tienen un poco de agua en primavera. La mayoría están cubiertas con brotes de vegetación acuática.

5º *Aguas abiertas.* Contienen hasta 60 pulgadas o más de agua en primaveras húmedas, y deben retener por lo menos 36 pulgadas sin desbordamiento superficial o a un canal permeable subterráneo. Estas áreas pueden tener un anillo marginal de vegetación.

DURANTE LA PRIMAVERA, cuando los patos se aparean para procrear, su necesidad principal consiste de espacio para

tener cierto aislamiento de otros ejemplares de la misma especie. Como el espacio requerido por una pareja no necesita una gran superficie de agua, un gran número de pequeñas áreas de agua temporales puede acomodar mayor número de parejas en esta etapa que un pequeño número de áreas grandes. Las pequeñas áreas temporales y los pantanos poco profundos (1º, 2º y 3º) pueden considerarse "aguas territoriales" para los patos en la estación de procreación. Los pantanos mayores y más profundos y las áreas de aguas abiertas (4º y 5º) se utilizan también, pero tienen mayor valor para el sostenimiento de las progenies más tarde en la estación. En primavera, una pareja de patos en procreación fija ordinariamente su residencia en una localidad que incluye cierto número de agujeros y utilizará varios de ellos, permaneciendo en una área bien definida,



Zona 1. Terreno ondulado y áspero; tierras fértiles, pero poco profundas y muy susceptibles a la erosión causada por el viento y el agua; numerosas depresiones; producción muy elevada de patos; desagües muy abundantes en las áreas orientales cultivadas y ligeros en las tierras de pradera del Oeste.

Zona 2. Terreno nivelado y ondulado; tierras fértiles de profundidades que varían de escasas a moderadas; erosión grave a moderada; depresiones y pantanos bastante numerosos; producción de pastos de elevada a moderada y gran cantidad de desagües en progreso.

Zona 3. Terreno nivelado; tierras fértiles y profundas; la erosión rara vez es un problema; hay todavía unos cuantos pantanos grandes; la producción de pastos es baja, a excepción de los pantanos que quedan todavía, y el desagüe ha destruido ya la mayoría de las tierras húmedas que antes abundaban.

probablemente menor de una milla cuadrada. Estos territorios se entrecruzan, pero el número de parejas de una misma especie que utiliza una área se determina por el número de sitios de procreación disponibles.

La elección de las patas de sitio para anidar parece quedar influenciada por un deseo de aislamiento. La mayoría de los nidos de la región de depresiones se encuentra en tierra seca, en ocasiones a considerable distancia del agua. El factor importante en la elección de un sitio de anidamiento parece ser una protección adecuada. Algunos nidos se construyen sobre el agua, generalmente en las áreas de pantanos profundos o aguas abiertas (4º y 5º), donde hay densos plantíos de juncos de tallo duro y espadañas. Durante el periodo de procreación de las crías, los patitos recién nacidos no pueden volar y son muy vulnerables a los ataques de las aves de rapiña. En algunas depresiones la vegetación, si no es muy densa, sirve como cobertura de protección contra los enemigos, y en aguas abiertas pueden escapar zambulléndose, si éstas tienen por lo menos 20 pulgadas de profundidad. Las mejores condiciones de procreación para las progenies se encuentran ordinariamente en las profundas depresiones de tamaño mediano y, principalmente, en las aguas abiertas que quedan rodeadas por escasos brotes marginales de vegetación. Esas condiciones se encuentran más a menudo en los pantanos profundos o en las aguas abiertas (4º y 5º), de 2 a 10 acres. Los lagos permanentes, demasiado grandes para que se consideren como depresiones, generalmente quedan tan barridos por los vientos que sólo tienen valor moderado para las progenies.

Los patos se mueven mucho durante la estación de procreación. Las parejas pueden adaptarse a las condiciones variables que resultan de la desecación y del relleno de las depresiones, y utilizan cualquier sitio adecuado dentro o cerca de su territorio de procreación. Las progenies que no pueden volar se mueven también fácilmente de una depresión a otra, de acuerdo con los cambios de condiciones, y caminarán más de dos millas para buscar áreas más deseables.

En la primavera, cuando la necesidad principal es de espacio, las pequeñas áreas temporales retienen el agua y permiten el esparcimiento de las progenies. Después de que se incuban los patitos, la mayor parte de las aguas temporales se han secado, quedando sólo las áreas mayores y más permanentes. Para entonces los requirimientos de los patos no son un factor limitativo y sus necesidades quedan ampliamente cubiertas por las áreas de procreación.

La producción máxima de aves acuáticas en la región de depresiones es consecuencia de las relaciones internas entre cierto número de tipos diferentes de depresiones, cada uno de los cuales llena ciertas necesidades. Una depresión temporal aislada alejada de otra más permanente no tiene valor, porque no suministra habitación para las progenies y sólo puede llenar las necesidades de apareamiento de las aves. Por otra parte, una depresión permanente en sí, aunque ideal para las progenies, tiene valor limitado, porque sólo la usarán unas cuantas parejas y sólo puede alcanzar su capacidad máxima para las progenies cuando está rodeada de un buen número de aguas temporales. Por lo tanto, el medio de habitación de las aves acuáticas en la región de depresiones sólo puede evaluarse bajo la base de la totalidad de las depresiones y tierras circundantes, y no como unidades individuales de agua.

Se ha determinado esta relación de comunidad para el área de Waubay y para otras áreas representativas de muestreo en los tres estados. La gráfica al final de este capítulo, muestra, mediante el número de depresiones, la abundancia comparativa de los 4 tipos de tierras húmedas mencionados antes, y puede notarse que la relación de comunidad es esencialmente la misma en todas las 4 muestras con 44% a 65% de aguas temporales, 24% a 32% de pantanos poco profundos, 6% a 22% de pantanos profundos y 1 a 8% de aguas abiertas.

En el área de Waubay, que tiene un

promedio de 35 depresiones por milla cuadrada, el promedio de producción anual durante los 4 años fue de 140 patos por milla cuadrada. Hay variaciones en el número de depresiones y en las relaciones de comunidad de otras áreas, así que la cifra de 140 patos de Waubay puede no aplicarse de modo general a toda la región de depresiones. Otros estudios efectuados han demostrado que 3 de los 4 patos que se producen en los Estados Unidos de Norteamérica vienen de Minnesota, North Dakota, South Dakota y Montana, y la mayoría de ellos se producen en medios de habitación del tipo de depresión.

Es indispensable una elevada producción continua de las depresiones de pradera para el futuro de la caza de aves acuáticas en las áreas de vuelo central y del Mississipi. Los patos producidos en ellas son también de importancia principal para los cazadores que se encuentran fuera de las mismas.

Los resultados de los 1,063 ánades, patos silvestres y ánades de cola puntiaguda a los que se colocaron bandas en junio, julio y agosto dentro de la zona de depresiones de los Estados Unidos de Norteamérica, muestran que los patos se cobraron en 39 estados, Alaska, Canadá y América Central y del Sur. De los patos de cabeza roja a los que se colocaron bandas en la zona de depresiones durante los mismos meses, y que se cobraron lejos de las inmediaciones del área en donde se les marcó, 13.5% se cobraron en la área de vuelo del Atlántico. De los ánades de cola puntiaguda cobrados lejos de las inmediaciones del sitio en donde fueron marcados, el 92% se cobró en las áreas de vuelo del Pacífico y del Atlántico en los Estados Unidos de Norteamérica y en Alaska y Columbia Británica. Por lo tanto, los patos de las depresiones de pradera contribuyen a la caza de aves acuáticas en la mayoría de los Estados Unidos de Norteamérica.

A pesar de las aseveraciones de que el desagüe de las depresiones temporales en otras más permanentes ha mejorado las áreas restantes para la procreación, no hemos podido comprobar esos beneficios. No hay un tipo de depresión perfectamente definido que pueda desaguarse sin perjudicar al total del medio de habitación de las aves acuáticas.

Si el Gobierno Federal desea cumplir con sus obligaciones, es de imperiosa necesidad un programa para salvaguardar esas tierras húmedas.

Aunque el Servicio de Pesca y Fauna tomara la delantera para desarrollar un programa que salvaguardara las tierras húmedas, la obligación legal de hacerlo se extiende a otros departamentos federales. Como puede decirse que la tierra produce las aves acuáticas en igual forma que los granos, el ganado o la madera, y como la región de depresiones de pradera consiste casi por completo en tierras privadas de granja, parece que la tarea de salvaguardar esas tierras húmedas debería dividirse entre los terratenientes y el Departamento de Agricultura. Realmente son los terratenientes quienes tienen la suerte de la región de depresiones en sus manos. Como el Departamento de Agricultura colabora más estrechamente con los agricultores, sus agencias se encuentran en situación para cooperar en un programa de conservación de las tierras húmedas.

Los terratenientes pueden llevar a cabo los desagües por varias razones, pero dos parecen ser las más importantes: El deseo normal de incrementar las entradas de las granjas y la inclinación a deshacerse de las depresiones aisladas y molestas, que a veces estorban la labranza.

Un programa aceptable para la conservación de las tierras húmedas debe considerar los dos factores. En general, los planes para la conservación de las depresiones deben tratar de ofrecer alternativas que den a los agricultores entradas aproximadamente iguales a las utilidades netas que puedan obtener con el desagüe. El agricultor puede también necesitar ciertas compensaciones por las molestias y carencias de desagüe que causan las depresiones.

A menudo se hace la sugestión de que las agencias públicas compren las áreas que se necesitan para la conservación de

las poblaciones continentales de aves acuáticas. Esa sugestión tiene cierto valor, porque la compra de las tierras aseguraría que nunca se desaguaran, y los propietarios privados quedarían exentos de la obligación de pagar impuestos sobre tierras que consideran improductivas. Sin embargo, en el mejor de los casos, la adquisición pública o el arrendamiento de las tierras húmedas sólo debe proporcionar una parte del total del medio de habitación que se necesita. La adquisición pública será muy costosa y difícil, y aunque las agencias públicas dispusieran de los fondos necesarios para tal objeto (lo que no sucede), la solución, aun cuando fuera la única, tiene cierto número de limitaciones.

LA ADQUISICIÓN PÚBLICA será el método más importante para proteger el resto de las tierras húmedas en la zona de depresiones, ya que en ella quedan todavía gran número de pantanos valiosos que es de temerse que se desagüen si no se convierten en propiedad pública. La División de Caza y Pesca de Minnesota ha hecho notables progresos en la adquisición de áreas húmedas, como parte de un programa bien planeado para conservar las tierras altas para los animales deportivos y las aves acuáticas. Muchos pantanos de la zona 2 sólo pueden protegerse mediante la adquisición pública; pero entonces puede ser necesario rentar y no comprar muchas de esas depresiones, porque son tan pequeñas y están tan esparcidas que la compra sería difícil y costosa.

Las depresiones de la zona 1 son tan numerosas y están tan extensamente esparcidas y el área es tan grande, que es probable que un programa de adquisición tendría poco éxito. Las agencias públicas comprarán algunas tierras húmedas, pero la mayoría de ellas tendrán que conservarse para la protección de las aves acuáticas en alguna otra forma.

Como se necesita mayor número de áreas públicas de caza para aliviar la presión de las tierras de propiedad privada en las que actualmente se efectúa la mayor parte de la caza, un programa de compras y arrendamientos proporcionaría el beneficio adicional de suministrar esas áreas públicas de caza. Un programa de arrendamiento y adquisición de tierras húmedas es responsabilidad total de los departamentos estatales de caza y pesca y del Servicio de Pesca y Fauna. Las agencias agrícolas pueden ayudar, señalando sitios adecuados para su futura compra.

UN SUGUNDO MÉTODO PARA CONSERVAR las tierras húmedas es también responsabilidad de las agencias de conservación de la pesca y la fauna; pero parece que hay oportunidad de que los intereses agrícolas tengan parte en la tarea, que comprende el desarrollo de usos alternados para las tierras húmedas, que tengan en cuenta la conservación de las aves acuáticas y que aumenten las entradas de los agricultores derivadas de ellas. Vale la pena mencionar algunas de esas oportunidades.

Muchas depresiones retienen el agua durante periodos de tiempo tan cortos que pueden cultivarse en ellas cosechas ordinarias sin desagüe, y debe alentarse a los terratenientes para que cultiven esas áreas. Aun algunos sitios que retienen el agua por un periodo de tiempo un poco mayor pueden usarse para cosechas de forrajes de tierras húmedas, entre las que se cuentan la caña de canario, la espiga blanca y la hierba triguera alta. Parece que algunas otras especies tienen buenas posibilidades para cultivo húmedo, y las investigaciones ulteriores pueden encontrar otras más con mejores características de crecimiento y mayores valores de proteína que las ya mencionadas.

Otra posibilidad consiste en utilizar los pantanos profundos y áreas de aguas abiertas como fuente de suministro de aguas para usos agrícolas. En ciertos sitios pueden requerirse cercados u obras de control de agua, y probablemente quedaría disponible un suministro mayor y más seguro de agua para el ganado y tal vez para riegos. Sin embargo, no debe abusarse de ese suministro hasta el grado de que los bombeos agoten las depresiones.

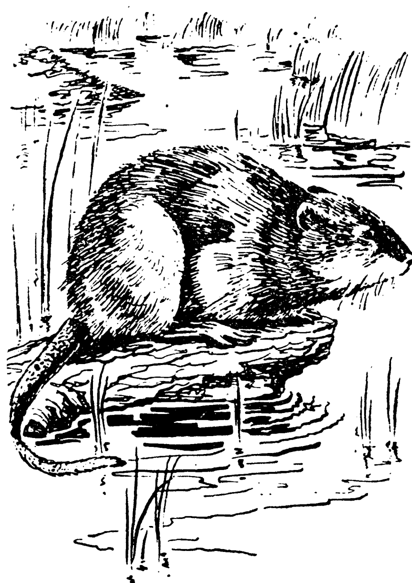
El empleo de las depresiones para la producción de cosechas de pelo, de foxi-

nos y para caza de patos, podría proporcionar entradas adicionales para el dueño de tierras húmedas.

Los beneficios obtenidos con esos usos alternativos podrían tal vez exceder de las entradas netas que podría obtener un agricultor mediante el desagüe y cultivo de cosechas convencionales. El Servicio de Pesca y Fauna, reconociendo las posibilidades de esas soluciones, ha asignado biólogos para que trabajen con las unidades del Departamento de Agricultura y con los agricultores, a fin de despertar mayor interés en las necesidades y soluciones posibles.

UN TERCER MÉTODO, tal vez el más prometedor, desde el punto de vista de la conservación de las aves acuáticas, implica una reconsideración de la utilización de la tierra en la región de depresiones. Como se ve en el mapa al final de este capítulo, las zonas 1 y 2 tienen la mayor cantidad de depresiones, y la mayoría de las comprendidas en la zona 3 se desaguaron porque la tierra está nivelada y es fértil. Las tierras de las zonas 1 y 2 tienen poca profundidad, y muchas de ellas son onduladas o de colinas.

Algunas autoridades agrícolas creen que las cosechas de surco y la labranza de pequeñas gramíneas no constituye la mejor utilización de gran parte de la tierra en esas dos zonas, y recomiendan que ésta se use primordialmente para cosechas de hierba y de cobertura.



Ese cambio podría resultar en una disminución del desagüe en lo futuro, elevar el nivel económico del terrateniente y proteger nuestros recursos de aves acuáticas. El desarrollo de un programa de labranza en la región ondulada de tierras poco profundas que planeara y facilitara ese cambio a labranza de hierbas, contribuiría grandemente a mejorar las condiciones existentes para las aves acuáticas.

THOMAS A. SCHRADER *es supervisor de los Estudios de Cuencas de Ríos de la Oficina Regional de Minnesota del Servicio de Pesca y Fauna de los Estados Unidos de Norteamérica, habiéndose incorporado a ese Departamento desde 1945.*

Las tierras inundadas y la conservación de las aves acuáticas

Samuel P. Shaw y Walter F. Crissey.

LOS PATOS Y GANSOS son cosechas de la tierra en el mismo sentido que lo son el trigo y el maíz.

A menudo los programas de conservación agrícola y de aves acuáticas compiten en la tierra necesaria para la producción de cosechas. Millones de acres de excelentes tierras de habitación de las aves acuáticas se han cambiado de tierras inundadas de fauna acuática a tierras secas agrícolas, principalmente por medio del control de inundaciones y de proyectos de desagüe. Esta disminución en el espacio vital de las aves acuáticas ha dado por resultado una reducción correspondiente en sus poblaciones continentales.

El que las aves acuáticas continúen disminuyendo en lo futuro depende grandemente de la importancia que los proyectos de recuperación de las tierras inundadas concedan a los requerimientos de

espacio vital de las aves. Las tierras inundadas suministran también espacio vital para muchas especies de animales deportivos que viven en ellas, especialmente la rata almizclada; pero este capítulo se limitará a tratar de la importancia de las tierras inundadas para las aves deportivas migratorias, especialmentes los patos y gansos.

Desde el punto de vista del deportista, las aves acuáticas constituyen un recurso natural que vale la pena conservar. Los cazadores de patos han duplicado sus filas en la última década. Actualmente hay cerca de 2 millones de personas que disfrutan anualmente por lo menos de 10 millones de días en el campo y que gastan más de 100 millones de dólares anuales en artículos tales como alimentos, habitaciones, transportación y equipo. Otros muchos millones de norteamericanos encuentran placer en observar y fotografiar las aves en su ambiente natural, y en vista de la demanda existente de facilidades recreativas y de los suministros de ellas por los recursos de aves acuáticas, la conservación de las poblaciones de aves migratorias merece una elevada prioridad en el futuro planeamiento y utilización de la tierra.

El Gobierno Federal tiene la responsabilidad primordial de asegurar la solvencia del negocio de las aves acuáticas, y esto debe ser así, porque los patos y gansos emigran sin respetar los linderos estatales o nacionales, viajando anualmente de la parte norte a la parte sur del Continente, y regresando de nuevo. Por lo tanto, el problema del manejo de ese recurso es de alcance internacional.

Las áreas de agua empleadas por las aves acuáticas son de dos categorías: Las extensiones permanentes de agua y las llamadas "tierras húmedas". Las áreas permanentes son parte necesaria del medio de habitación de las aves acuáticas; pero como puede confiarse en que los lagos, depósitos, corrientes y aguas costeras más profundas permanezcan casi constantes en su extensión y puedan aumentar en número y superficie en lo futuro, su conservación para su uso por las aves acuáticas no constituye un problema inmediato para la conservación de las mismas. Naturalmente, la protección de esas áreas contra contaminaciones y otras influencias perjudiciales para su capacidad de sostenimiento de las aves acuáticas es asunto diferente.

Trataremos aquí primordialmente de los medios de habitación que representan las tierras húmedas de la nación, las tierras saturadas o poco profundas que se conocen como praderas, pantanos, lodazales, agujeros, marismas, sumideros, tierras de desbordamiento y estanques superficiales. Potencialmente la mayoría de las tierras húmedas pueden desaguarse, controlarse por medio de diques o rellenarse, y convertirse para su utilización como tierras secas. El medio de habitación de las tierras húmedas, contrariamente a lo que ocurre con las aguas abiertas permanentes, proporciona sitios de procreación para la mayoría de los patos y gansos de Norteamérica, y contribuye de modo importante al medio de habitación necesario durante la emigración y la invernada. Por lo tanto, las tierras húmedas son requisito indispensable para las aves acuáticas.

El Servicio de Pesca y Fauna de los Estados Unidos de Norteamérica, en colaboración con los departamentos estatales de conservación, llevó a cabo una inspección de tierras húmedas para verificar su extensión, localización, tipo y valor de las mismas para las aves acuáticas. La primera fase de ese trabajo se terminó en junio de 1954 y se presentan aquí algunos de sus resultados. El objeto principal de ese inventario de las tierras húmedas fue el mostrar la importancia relativa de las tierras húmedas que quedaban en cada estado para las aves acuáticas.

Para determinar la extensión de las áreas de tierras húmedas disponibles para usarse por las aves acuáticas, se incluyeron en el inventario todas las áreas significativas en algunos estados, y como en otros esa utilización quedada, restringida principalmente a ciertas regiones fisiográficas bien definidas, sólo se incluyó una parte del total de tierras húmedas. Sin embargo, en ningún caso se dejaron de incluir las extensas áreas de verdadera importancia. Efectuado en escala nacio-

nal, ese inventario catalogó aproximadamente el 90%, o más, de las tierras húmedas para uso de las aves acuáticas en cada estado.

Todas las áreas se midieron en acres y se detallaron en mapas de los condados y de los estados. Esos mapas y tablas detallados de superficies, están a la disposición de cualquier agencia o grupo de conservación públicos o privados que puedan utilizarlos, y también información disponible más generalizada, preparada por los estados para distribuirse en forma limitada.

Se clasificó también cada área o grupo de áreas de tierras húmedas en cada uno de 20 tipos ecológicos, basados principal-

Valores de las tierras húmedas para las aves acuáticas en 1955, basados en determinaciones de unidades estatales (acres)

(Los valores no son comparables entre estados)

Estado	*Altos*	*Moderados*	*Bajos*	*Infimos*	*Total*
Alabama	26,500	249,600	1,092,200	230,100	1,598,400
Arizona	16,500	11,400	500	....	28,400
Arkansas	926,600	699,400	1,496,700	662,700	3,785,400
California	317,800	176,200	57,600	7,700	559,300
Colorado	35,800	101,600	211,900	55,100	404,400
Connecticut	6,900	8,000	4,800	3,700	23,400
Delaware	24,600	40,700	49,600	16,400	131,300
Florida	423,000	1,659,900	6,585,200	8,517,200	17,185,300
Georgia	20,900	440,400	1,428,900	4,029,300	5,919,500
Idaho	59,300	23,100	21,400	5,100	108,900
Illinois	75,700	196,100	112,700	42,800	427,300
Indiana	151,600	68,900	33,600	29,300	283,400
Iowa	57,100	51,600	....	29,400	138,100
Kansas	120,800	65,900	17,500	....	204,200
Kentucky	84,400	27,400	34,200	127,100	273,100
Louisiana	706,800	1,706,200	1,092,500	6,141,800	9,647,300
Maine	108,500	52,200	140,300	83,300	381,300
Maryland	112,600	87,800	51,100	38,500	390,000
Massachusetts	46,600	55,700	80,200	49,200	231,700
Michigan	310,500	2,013,200	430,100	463,300	3,217,100
Minnesota	1,274,500	778,800	2,991,600	....	5,044,900
Mississippi	316,200	682,200	854,700	736,300	2,589,400
Missouri	105,700	93,100	74,100	104,100	376,900
Montana	29,100	113,300	45,000	....	187,400
Nebraska	197,800	171,000	281,000	....	649,800
Nevada	109,100	70,400	13,000	....	192,500
New Hampshire	5,700	4,800	1,700	1,300	13,500
New Jersey	127,500	109,100	32,400	900	269,900
New Mexico	24,500	12,900	11,100	....	48,500
New York	99,800	35,700	55,100	22,200	212,800
North Carolina	81,100	38,500	505,200	3,429,800	4,054,600
North Dakota	354,900	653,600	314,800	....	1,523,300
Ohio	38,500	12,300	19,300	27,800	97,900
Oklahoma	18,500	133,800	127,400	....	279,700
Oregon	246,000	76,800	131,900	17,900	272,600
Pennsylvania	8,600	15,100	15,800	13,400	52,900
Rhode Island	1,900	2,100	4,000	17,400	25,400
South Carolina	10,900	194,400	1,495,600	1,676,100	3,377,000
South Dakota	161,400	414,200	176,400	....	752,000
Tennessee	447,600	128,200	128,600	123,600	828,000
Texas	586,400	1,597,800	923,500	633,300	3,741,000
Utah	249,400	342,100	315,800	267,100	1,174,400
Vermont	6,700	9,500	13,000	8,900	38,100
Virginia	28,300	85,900	177,700	249,200	541,100
Washington	54,300	53,900	68,100	56,900	233,200
West Virginia	1,600	....	2,200	....	3,800
Wisconsin	389,500	48,200	2,352,900	....	2,790,600
Wyoming	11,900	3,500	14,900	....	30,300
Total	8,818,900	13,316,500	24,087,700	27,915,200	74,439,300

mente en su localización, salinidad, vegetación y profundidad de agua durante la estación de crecimiento. Esos 20 tipos se describen en la *Clasificación de Tierras Húmedas de los Estados Unidos de Norteamérica, Informe Científico Especial, Fauna, núm. 20,* de junio de 1953, publicada por el Servicio de Pesca y Fauna.

Se asignó también una clasificación de su valor para la fauna a cada área de tierras húmedas descrita, y se establecieron categorías de valores elevados, moderados, bajos e ínfimos, que se aplican solamente a los estados en donde están localizadas esas tierras húmedas, y que son valuaciones de criterio efectuadas por biólogos de aves acuáticas bajo la base de las condiciones existentes en los medios de habitación y de su utilidad actual para las aves acuáticas. No reflejan los usos potenciales que podrían esperarse si esas áreas se desarrollaran específicamente para las aves acuáticas.

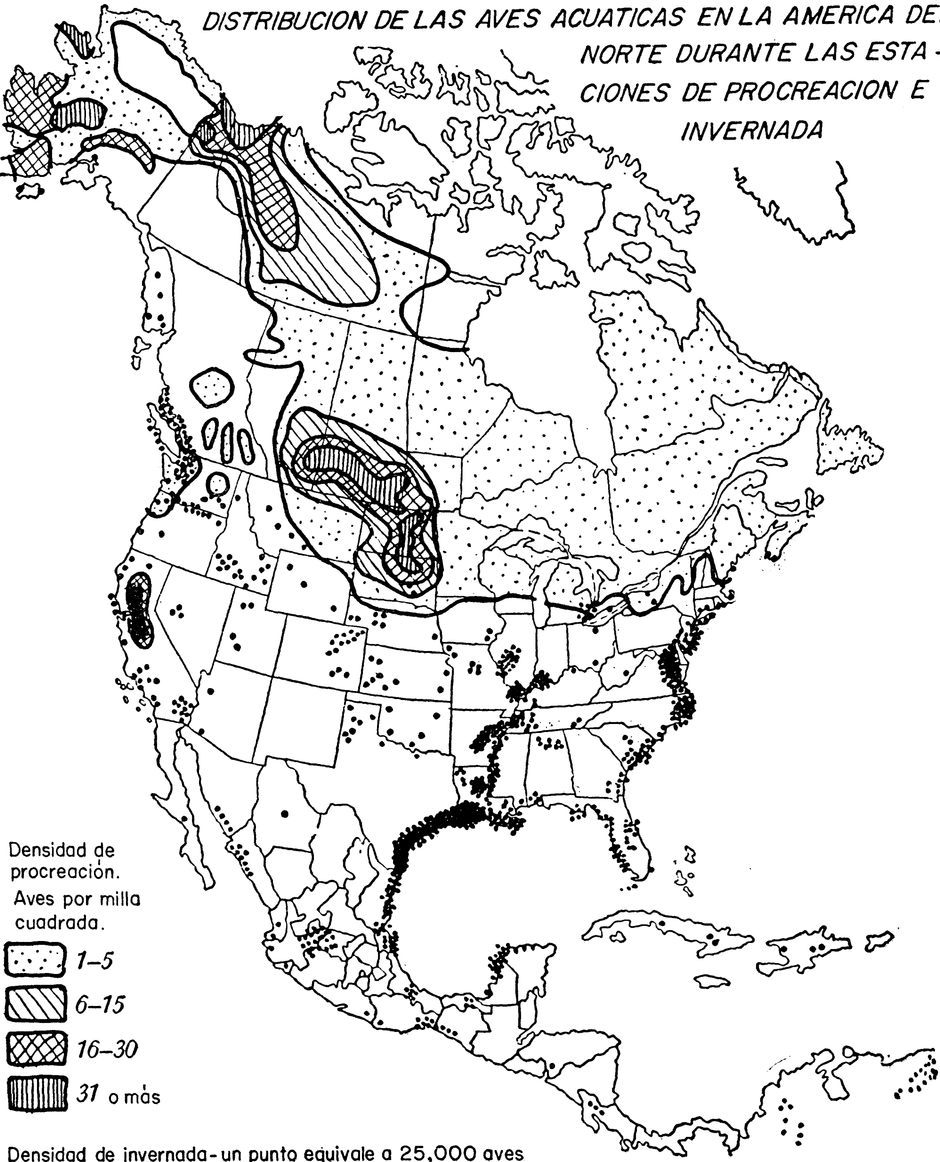
Se consideraron los usos durante los periodos de producción, migración e invernada, para decidir la clasificación de cada unidad de tierra húmeda. Los datos que se presentan al final de este capítulo por regla general no muestran los usos para cualquier actividad determinada de las aves acuáticas. En Minnesota, por ejemplo, más de un millón de acres de tierras húmedas recibió una clasificación elevada, más que ningún otro estado del país, pero la mayor parte de ellos se clasificaron así porque proporcionaban buenos sitios para el descanso de los patos durante la estación de caza y son importantes desde ese punto de vista. El resto de las tierras húmedas de gran valor en Minnesota son sitios de anidamiento. Sin embargo, considerando solamente el uso de producción, las superficies de gran valor de Minnesota produjeron muchos menos patos que el medio millón de acres de excelentes sitios de habitación de North Dakota.

Al final de este capítulo se insertan una tabla y dos mapas. La tabla muestra el número total de acres por estados mencionados en el inventario de acuerdo con las cuatro categorías de valores para las aves acuáticas. En el mapa de los Estados Unidos de Norteamérica se indica la distribución de las tierras húmedas de gran valor usadas por los patos y gansos.

El mapa continental muestra la distribución de aves acuáticas durante los periodos de procreación y de invernada. Los datos se basan en las inspecciones anuales de los sitios de procreación y de invernada efectuadas en forma cooperativa por el Servicio de Pesca y Caza, el Servicio Canadiense de la Fauna, las provincias, estados y agencias privadas de conservación. El mapa muestra las densidades de patos, gansos y negretas en toda la América del Norte y no solamente en los Estados Unidos de Norteamérica. Esto se hizo para subrayar la importancia relativa de las tierras húmedas de nuestro país en relación con los aspectos generales de conservación de las aves.

Dentro de los Estados Unidos de Norteamérica, el inventario de tierras húmedas muestra apoximadamente 74.4 millones de acres en varios grados de uso por las aves acuáticas. De esa superficie, aproximadamente 9 millones se clasifican como tierras húmedas de gran valor, 13.5 millones como de valor moderado, 24 millones como de bajo valor y 28 millones de valor ínfimo. Dependiendo de su localización, esas tierras húmedas suministran sitios de procreación, áreas de invernada y lugares de descanso y alimento durante las migraciones. Todas las tierras húmedas, con la posible excepción de las que carecen de valor, tienen un valor importante en la conservación de las aves acuáticas y algunas son susceptibles de mejoría. Exploraremos ahora los aspectos más importantes de la conservación de aves acuáticas, en lo que se relaciona a la utilización de la tierra y a la conservación de las regiones húmedas.

LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES acuáticas es una labor complicada. En realidad, sin embargo, hay poca diferencia con la conservación de los animales domésticos alimenticios, ya que el resultado final es la satisfacción del consumidor durante un periodo ininterrumpido. Supongamos que el Gobierno Federal fuera responsable de la conservación de todo el ganado de engorda que se produce en las tierras privadas de nuestro país. El Gobierno



tendría que saber cuántas cabezas de ganado habría que mantener, cuántas praderas se necesitarían para alimentarlos y cómo podrían recolectarse los animales suficientes en el sitio y época adecuados, dejando todavía una cantidad suficiente para producir una cosecha adecuada al año siguiente; pero, aún más importante, el Gobierno tendría que hacer todo esto en una forma aceptable para los terratenientes, ya que de lo contrario el programa seguramente fracasaría.

Sucede lo mismo con las aves acuáticas. Debemos determinar cuáles son las poblaciones óptimas que deben mantenerse, la cantidad y calidad de los espacios vitales o medios de habitación necesarios para sostener esa población, cómo puede efectuarse la dedicación de esas tierras para la producción de aves acuáticas con

o sin otros usos relacionados, armonizándolas con los programas de producción agrícola de la tierra, y cómo pueden participar los cazadores y terratenientes en la tarea total de producir y conservar las aves acuáticas, participando también de su recolección.

Para muchos deportistas, la óptima población de aves acuáticas se obtendría solamente si el cielo se oscureciera con incontables cantidades de aves que pudieran cobrarse sin tener en cuenta estaciones o límites de caza; pero el mantenimiento de esas grandes cantidades de aves no es compatible con las prácticas actuales o futuras de utilización de la tierra en la América del Norte. La producción de aves acuáticas y de alimentos para consumo del hombre compiten en ciertos aspectos. La demanda para una mayor producción de alimentos ha causado ya el desagüe de muchos acres de tierras húmedas, y esto significa que el potencial de producción de grandes cantidades de aves acuáticas ha desaparecido.

En algunas regiones del país, especialmente en California, la cantidad de tierras húmedas ha declinado ya a tal grado que en los años en que las condiciones de procreación causan vuelos mayores de los normales, las aves atacan las cosechas agrícolas como fuente de alimento. Cuando las circunstancias hacen que las aves lleguen antes de que se recolecten las cosechas, ocurren pérdidas graves.

El problema de esas depredaciones es muy grave también en las praderas canadienses. En ellas se está produciendo gran número de aves en las regiones productoras de granos, en las que bajo ciertas circunstancias los métodos de recolección hacen que los granos queden al alcance de las aves, y hay una necesidad bien definida para encontrar mejores métodos de control de esas depredaciones en la región. Por lo tanto, la cantidad, calidad y distribución de los sitios de habitación que pueden quedar disponibles para las aves acuáticas en las tierras húmedas, más la extensión de las depredaciones en las cosechas agrícolas, pueden usarse como medios aproximados de determinar el nivel óptimo de poblaciones de aves que debe fijarse como objetivo.

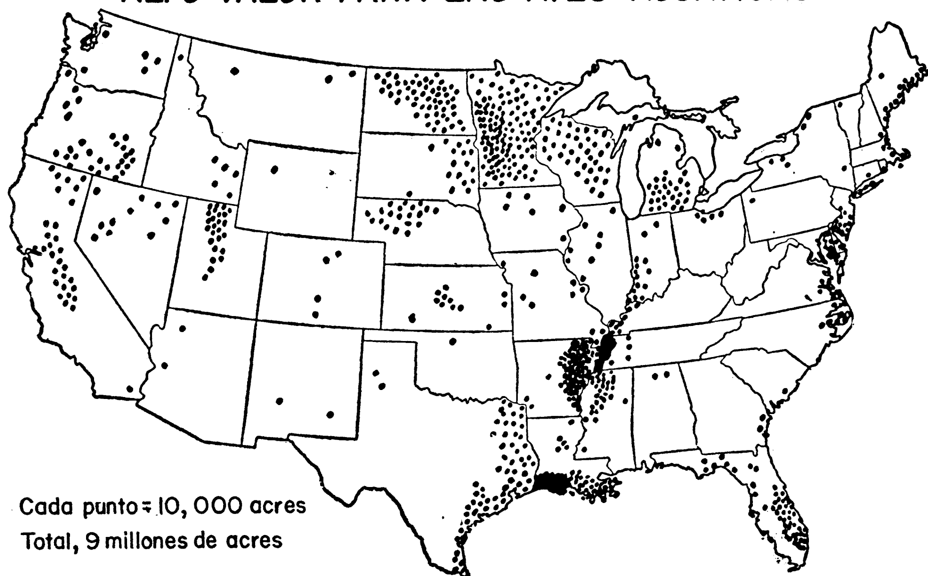
Una vez que se haya fijado ese objetivo, en términos de nivel óptimo de población, la conservación de aves acuáticas implica tres actividades principales: La producción durante la estación de procreación; el mantenimiento de una población de procreación adecuada desde el fin de una estación de procreación hasta el principio de la siguiente, y la distribución de la cosecha de aves sobrantes entre los deportistas del continente. Cada una de esas actividades está limitada por la disponibilidad de tierras húmedas.

Las aves acuáticas son muy exigentes en sus requerimientos durante la estación de procreación, y hay un límite del número de patos y gansos que acepten una determinada unidad de habitación para esos fines. Por lo tanto, la cantidad y calidad de los sitios de procreación determina el número de aves acuáticas que pueden producirse anualmente en la América del Norte.

En los Estados Unidos de Norteamérica se produce cada año aproximadamente una quinta parte de la cosecha continental de aves acuáticas. De las que existen en nuestro país durante la primavera y el verano, casi las tres cuartas partes encuentran sitios de procreación dentro de las regiones de praderas de North Dakota, South Dakota, Minnesota y Montana. La mayoría de las restantes se producen en los estados del Noroeste, y solo aproximadamente un 6% vienen de los estados del Nordeste.

Casi la mitad de las tierras húmedas continentales que producen aves acuáticas se encuentran en regiones destinadas primordialmente a la agricultura. En los Estados Unidos de Norteamérica casi todos los sitios de procreación se localizan en esa forma.

Aunque la expresión "buen tiempo de patos" parece indicar que éstos medran en tiempo de lluvias, lo contrario se acerca más a la verdad. Especialmente durante la estación de procreación los patos y gansos necesitan agua; pero las lluvias excesivas son perjudiciales para el éxito de los anidamientos y la incubación de las progenies. Las áreas de anidamiento más productivas del Continente se encuentran en donde la precipitación



anual es de 20 pulgadas, o menos. Las áreas que se secan periódicamente, a menudo parece que son más productivas que las que están continuamente inundadas. Las praderas de hierbas de la región central del Norte se caracterizan por los cientos de miles de depresiones que normalmente están secas y que sólo se llenan con las lluvias que ocurren en 2 a 4 años de cada 10. Cuando ocurre esta agua adicional en las tierras de hierbas, la producción de patos aumenta considerablemente.

Otro factor importante es el tamaño de las áreas individuales de tierras húmedas. Por ejemplo, en North Dakota las tierras húmedas individuales son un poco mayores de 2 acres en promedio, mientras que en el sudeste de Saskatchewan tienen un promedio menor de un acre. La producción de cada unidad de tierra húmeda es aproximadamente la misma en North Dakota y en Saskatchewan, así que la diferencia en los promedios de tamaño significa que el promedio de producción por acre de tierras húmedas en Saskatchewan es más del doble del de North Dakota. Es un hecho que las pequeñas depresiones y pantanos producen conjuntamente más patos que una superficie igual de áreas mayores.

Entre una estación de procreación y la siguiente, las tierras húmedas son también indispensables para las aves acuáticas, pero de modo diferente. Como éstas emigran hacia el Sur y ocupan territorios de invierno, las parejas no buscan quedar aisladas, y en esa época las aves se vuelven más bien gregarias y se juntan en bandadas. Actualmente pueden acomodarse grandes cantidades de aves en áreas relativamente pequeñas, siempre que haya alimento suficiente y un espacio de agua en donde puedan descansar.

No siempre es necesario que se obtenga el alimento exclusivamente de las tierras húmedas. Algunas especies de aves acuáticas tienen preferencia por los cereales en grano, aun cuando haya disponibles alimentos acuáticos naturales. Las tierras agrícolas en la vecindad de las áreas profundas de agua, se convierten en sitios de habitación aceptables para esas especies.

Las aves acuáticas son sumamente móviles durante las estaciones de otoño e invierno, y han mostrado gran capacidad para moverse a localidades más favora-

bles. Aunque la totalidad de las tierras húmedas de que disponen actualmente no es indispensable para su supervivencia durante los periodos de otoño e invierno, es indispensable un sistema abundante y bien distribuido de tierras húmedas, a fin de que las aves puedan recolectarse en forma adecuada y equitativa.

Los patos y gansos pueden emigrar a grandes distancias entre un punto de descanso y el siguiente; pero se les puede inducir con facilidad a hacer un viaje más lento si encuentran en el camino buenos sitios para la alimentación y el descanso. Si no se induce a las aves a que descansen por medio de atractivas tierras húmedas, se limita la oportunidad de su recolección a lo largo de las rutas migratorias. Se aplica el mismo principio en los estados donde hay áreas de procreación e invernada, es decir, es muy necesario el esparcimiento de áreas atractivas de tierras húmedas si se quiere que haya algunas oportunidades para los cazadores de cada estado.

En los últimos años los particulares han comprado o arrendado los sitios de habitación más atractivos en los que pueden cobrarse las aves. En esos cotos generalmente se limita el número de escopetas como medida de mejoramiento de la calidad de la caza. Como resultado de ellos, unos cuantos individuos controlan grandes cantidades de aves acuáticas durante extensos periodos de tiempo en la estación de caza, recolectando sólo un pequeño porcentaje de ellas. A medida que aumenta esta tendencia, un número cada vez mayor de cazadores de aves acuáticas se ha visto forzado a cazar en áreas en las que las oportunidades de cobrar una pieza son muy limitadas. Por lo tanto, desde el punto de vista de una oportunidad equitativa, hay necesidad de adquirir tierras húmedas adicionales para que sirvan como sitios públicos de caza.

Las oportunidades públicas para la caza han creado también la necesidad de sitios de propiedad pública en los que las aves acuáticas puedan encontrar refugio. La concentración de la caza ahuyentará las aves de ciertas áreas. Sin embargo, una área de refugio con un suministro de alimentos atractivos retendrá algunas especies de aves acuáticas en una región de intensa caza. Por lo tanto, se necesita un sistema bien integrado de refugios y sitios públicos de caza para la debida distribución y recolección de los recursos de aves acuáticas.

Después de la estación de caza la necesidad de tierras húmedas estrictamente como sitios de invernada es actualmente más crítica que en el área de vuelos del Pacífico. En California, donde invierna regularmente más de la mitad de la población de aves acuáticas del área de vuelos del Pacífico, una escasez de medios naturales de habitación en tierras húmedas ha hecho que las aves se vuelvan a las cosechas agrícolas en busca de alimento. Aunque se sostienen bastante bien con cosechas tales como arroz y lechuga, las graves deprediaciones han hecho necesarias reglamentaciones especiales que permiten una caza más intensa de las especies que causan los mayores perjuicios, tales como ánades de cola puntiaguda y cercetas. Naturalmente, la reducción de las poblaciones sólo puede considerarse como solución temporal y de emergencia, porque si se siguiera ese procedimiento hasta donde fuera necesario, podría conducir a la virtual eliminación de importantes especies de aves acuáticas.

Se necesitan urgentemente sitios de habitación adicionales para las invernadas en áreas difíciles, tales como California; pero ésta puede no ser una solución completa al problema de las depredaciones. Los patos de varias especies prefieren actualmente los cereales en grano a los alimentos acuáticos naturales. Los campos de cereales cercanos a las superficies de agua en las que pueden descansar las aves, constituyen medios satisfactorios de habitación durante gran parte del otoño, el invierno y principios de la primavera para varias especies de patos y gansos del Canadá. Especialmente los cultivos de arroz, con sus campos inundados, ofrecen condiciones sumamente atractivas, y para combatir las depredaciones se ha hecho necesario que los cereales en grano queden disponibles para las aves, además de los alimentos naturales de las tierras húmedas. Actualmente muchos de esos sitios públicos de conservación de aves

acuáticas incluyen tierras altas en donde se cultivan miles de acres de cereales en grano.

DESDE EL PUNTO DE VISTA de la utilización de la tierra, los administradores de la fauna acuática se enfrentan constantemente al problema de la cantidad de tierra que debe incluirse en las áreas públicas de aves acuáticas, y cuál es la mejor política en relación con los proyectos de desagüe y de control de inundaciones que privan a las aves de excelentes medios de habitación. Las agencias de utilización de la tierra hacen las siguientes preguntas: ¿Cuántos acres de tierras húmedas se necesitan para proteger los patos contra las ulteriores destrucciones de sus poblaciones? ¿Cuál es el plan para destinar esas tierras para ese objeto? ¿En dónde están localizadas las tierras húmedas que tienen valor para las aves acuáticas y que tienen que protegerse contra los proyectos de recuperación y destinarse para que sean utilizadas por las mismas?

El inventario de las tierras húmedas ayuda a contestar la última pregunta, ya que no hay respuestas sencillas para las demás. Algunas personas se inclinan a contestar que como ya se han perdido bastantes sitios de habitación de las aves acuáticas, no pueden tolerarse mayores pérdidas. Otras creen que las tierras húmedas que son indispensables pueden seleccionarse, convertirse en propiedades públicas y conservarse para las aves, resolviendo así el problema de la disminución de superficies de tierras húmedas; pero ninguna de esas respuestas es adecuada en sí.

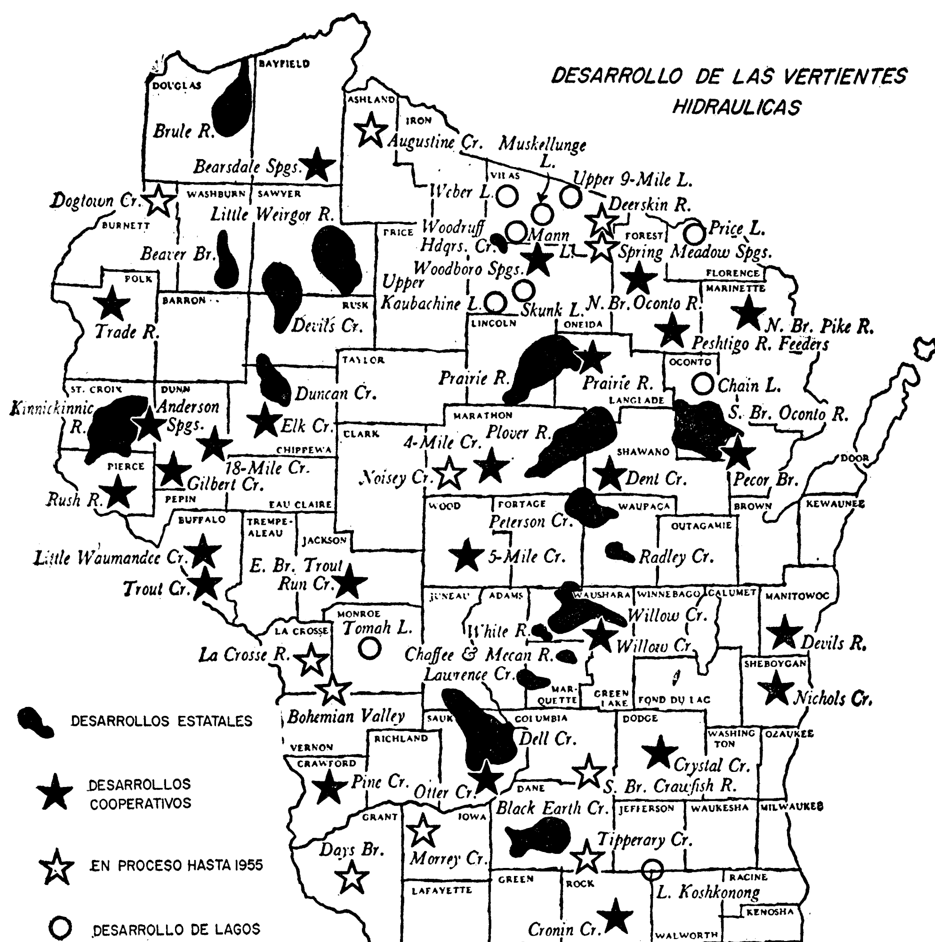
Los administradores de aves acuáticas se encuentran en situación de oponerse a los desagües que destruirían los sitios de habitación de las mismas, mientras que se ven forzados al mismo tiempo a reconocer que no siempre pueden negarse las solicitudes de recuperación de tierras húmedas para utilizarlas como tierras secas.

Las opiniones de los pronosticadores expertos varían sobre la cantidad de tierra que tenga que destinarse a producción agrícola para el sostenimiento de las futuras poblaciones de Norteamérica y qué parte de ese incremento de la demanda puede cubrirse con el incremento de la producción de las actuales tierras de cosechas. Gran parte de esto dependerá del éxito de la protección de las superficies cultivadas contra los daños de la erosión y del uso inadecuado, y que tan rápidamente puedan aplicarse las técnicas mejoradas de cultivo.

EL DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA manifiesta (*Usos Principales de la Tierra en los Estados Unidos de Norteamérica,* 1953) que hay aproximadamente 50 millones de acres de tierras húmedas y de desbordamiento en la zona continental de nuestro país, que si se desaguaran serían apropiadas para usos agrícolas productivos. Aproximadamente 30 millones de ellos se cultivan parcialmente en la actualidad, y 20 millones son tierras no desarrolladas sujetas a programas totales de desmonte y desagüe. Si continúa la tendencia de desarrollo de la tierra de 1945-1952, podemos esperar que 15 de de esos veinte millones de acres de tierras húmedas no desarrolladas se utilizarán eventualmente para cosechas de cultivo después de que se desmonten, desagüen y protejan contra las inundaciones.

La pérdida de esos 15 millones de acres de tierras húmedas naturales, afectaría indudablemente en sumo grado a las aves acuáticas si esas tierras estuvieran localizadas en donde tiene importancia que las utilicen los patos. La experiencia ha demostrado que las mejores tierras para las aves acuáticas a menudo son las que tienen las mejores posibilidades agrícolas.

Los datos publicados por la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (*Desagües Efectuados en las Areas Húmedas de los Estados Unidos de Norteamérica,* julio de 1954), muestran que se beneficiaron 26.713,205 acres de tierras mediante desagües con zanjas abiertas entre 1942 y 1952, con la ayuda económica del Programa de Conservación Agrícola. Naturalmente, sabemos que sólo un pequeño porcentaje de esos desagües afectó las áreas de pantanos y áreas abiertas, pero cuando se trata de cantidades de tierra tan excesivas, hasta un pequeño porcentaje tiene significación en sus efec-



tos sobre la disminución del medio de habitación de las aves acuáticas.

Esto es particularmente cierto si se considera que el 48% de esos desagües hechos con ayuda federal ocurrieron en los estados centrales del Norte, en donde se encuentra la mayoría de las tierras húmedas de procreación de patos en nuestro país.

En lo futuro, la proporción de desagües dependerá generalmente de las condiciones económicas, de la demanda de cosechas que puedan cultivarse en esas tierras y de la ayuda estatal o federal para desagües de que puedan disponer los terratenientes. Hasta la fecha los usos alternativos de las tierras húmedas que carecen de desagüe han jugado un papel insignificante para determinar la suerte de las mismas.

No es suficiente manifestar que la única forma de proteger los sitios de habitación de las aves acuáticas consiste en poner fin al desagüe de las tierras húmedas. Además, debe estarse de acuerdo, generalmente, en que hay medios prácticos para la conservación de la base de tierras húmedas. Al igual que en otras empresas de conservación de recursos, el programa de conservación de aves acuáticas debe tener carácter cooperativo, que haga que los individuos, grupos locales y agencias estatales y federales trabajen conjuntamente y participen en la recolección. Necesitamos indicaciones que puedan seguirse tanto por las agencias

como por los individuos, para la planeación de la futura utilización de las tierras húmedas restantes de la nación.

¿Debemos planear la recuperación de toda la superficie posible para expansiones agrícolas e industriales, o podemos hacer provisiones para salvaguardar los recursos inseparables de las aves acuáticas y de las tierras húmedas?

No hay evidencia que justifique que los patos deban ceder ante la civilización; pero si no se toman prontamente medidas positivas en relación con el futuro, se perderán irremisiblemente.

Los administradores de la fauna acuática se enfrentan al hecho irrefutable de que no es factible convertir en propiedad pública todas las tierras húmedas necesarias para la producción y mantenimiento de una población adecuada de aves acuáticas, especialmente en los sitios de procreación indispensables de los estados centrales del Norte y de las provincias de praderas, en donde casi toda la procreación se hace en tierras privadas.

La producción de patos está íntima y firmemente ligada a los millones de pequeñas áreas de agua y de pantanos que son de propiedad privada y que se encuentran esparcidas en toda esa región agrícola. No parece haber un modo práctico de convertir en propiedad pública más de un pequeño porcentaje de la superficie necesaria para mantener la producción actual.

Esto no quiere decir que no se necesiten las áreas de propiedad estatal o federal para la etapa de procreación de los patos. Esas áreas son indispensables para conservar los recursos de aves acuáticas; pero son suplementarias de los millones de acres de sitios de anidamiento de los patos que se encuentran en granjas privadas y no los substituyen, por lo que puede considerarse que el agricultor tiene la clave del futuro de las aves acuáticas.

El Servicio de Pesca y Fauna y el Departamento Estatal de Conservación han adquirido casi 5 millones de acres de tierras desde 1935, para la conservación de las aves acuáticas. Estas áreas públicas están esparcidas en toda la zona de procreación y de invernada y a lo largo de las principales rutas de migración.

La meta a largo plazo consiste, por lo menos, en 12 millones de acres de propiedad federal y estatal; pero en vista de la superficie total de tierras húmedas que se emplean actualmente por las aves acuáticas (23 millones de acres solamente de tierras húmedas con valores elevados y moderados), no es probable que aun con los más ambiciosos programas de adquisición se pueda llevar a cabo la tarea.

La contribución principal de la propiedad pública de las áreas de aves acuáticas, consiste en su permanencia para que sean utilizadas por ellas. Esas áreas se destinarán para siempre y en muchos casos se mejorarán, para que sean usadas por las aves migratorias. Las estructuras de control del agua en la mayoría de las áreas de conservación de aves acuáticas aseguran sitios permanentes de habitación para los patos y gansos, independientemente de los periodos de sequía y durante ellos, aumenta grandemente la utilización de esas áreas.

Es obvio que la preservación de las tierras húmedas para las aves acuáticas es una empresa cooperativa, y además de sus aspectos internacionales, implica programas de agencias estatales y federales para utilización de tierras, agencias estatales y federales de la fauna y terratenientes privados.

A menudo los dueños de tierras no se dan cuenta de que algún pantano que piensan desaguar tiene importancia real para el total de la población de patos o tiene valor real para sus propietarios en estado natural, o si convienen en la importancia que tienen para los patos, pueden pensar que no les incumbe la protección de un recurso público en sus tierras privadas, y que éstas pueden proporcionarles mayores entradas si se desaguan. Necesitamos métodos prácticos para alentar a los terratenientes a que conserven inundadas las tierras húmedas cuando tienen alto valor para las aves acuáticas.

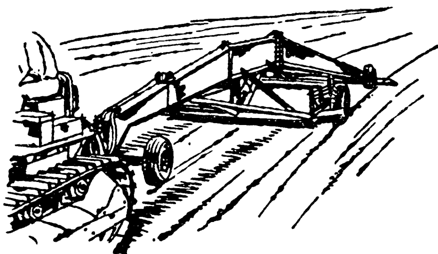
Las agencias federales y estatales para la utilización de la tierra y las agencias para el control del agua encajan perfectamente en esta fase de la situación, ya que incumbe a ellas la tarea de conservar

todos los recursos nacionales de tierras y aguas. Puede esperarse razonablemente que mediante sus programas de utilización de tierras y aguas, hagan cuanto sea posible para que incluyan planes para la protección y uso adecuado de recursos públicos tan valiosos como las aves acuáticas, y son esas agencias las que tienen mayor influencia en los cambios de utilización de la tierra, pudiendo evitar los desagües de tierras privadas y aun mejorar y crear nuevos sitios de habitación para las aves acuáticas.

Durante las dos últimas décadas se ha aceptado un método para alentar las medidas de conservación necesarias, que consiste en el empleo de pagos de incentivo a los terratenientes. Se han empleado fondos públicos para este fin, basándose en la premisa de que la buena conservación de tierras y aguas redunda en interés público a la larga, aun cuando los incrementos de alimentos y fibras que resultan de esas prácticas de conservación sean en realidad recursos privados, y ese razonamiento encuentra muy poca oposición. Prácticamente no debe haber oposición alguna si se usan fondos públicos para beneficiar los recursos públicos de aves acuáticas.

Pueden preservarse, mejorarse y crearse tierras húmedas en tierras privadas si los planeadores de la utilización de la tierra cuentan con el apoyo del público para hacerlo y si tienen la autoridad necesaria para alentar la conservación de tierras húmedas, dando ayuda técnica y financiera a esos programas. Como ejemplo, en vez de ayudar a un agricultor para que desagüe un pantano en alguna región de importancia para las aves acuáticas, puede dársele ayuda para almacenar más agua, plantar alimentos para las aves acuáticas y hacer más atractiva el área para los patos en cualquiera otra forma. El agricultor puede obtener beneficios potenciales mediante la conservación de tierras húmedas en sus propiedades, tales como el arrendamiento de sus pantanos para caza de patos, la recolección de una cosecha de heno silvestre, la caza de ratas almizcladas o la utilización de las aguas almacenadas para riegos y usos recreativos.

Habría que estudiar individualmente cada granja que contenga una área de tierras húmedas para determinar el mejor aprovechamiento de la misma tanto por el terrateniente como por los patos. Los biólogos estatales y federales de la fauna, así como muchos técnicos agrícolas, pueden ayudar a que el agricultor lleve a cabo esos propósitos. Lo único que



falta en la mayoría de los casos es un programa sólido para la fauna basado en políticas de utilización de las tierras y aguas que reconozcan la producción de aves acuáticas, y otra fauna como un uso benéfico de tierras agrícolas.

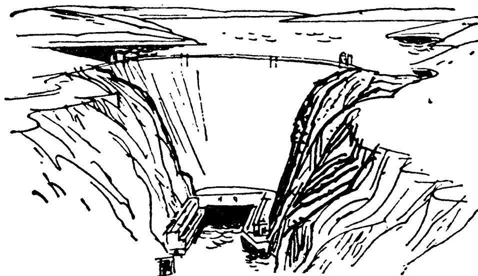
El inventario de tierras húmedas puede servir como guía básica para seleccionar aquellas áreas en que debe darse consideración primordial al valor de las aves acuáticas.

El inventario debe utilizarse para la preparación de programas que hagan de la conservación de tierras húmedas una parte integrante del trabajo de las agencias públicas de tierras y aguas, y para adquirir mayor cantidad de ellas, cuando sea posible, con fines de conservación estatal y federal. Sólo puede convertirse en realidad la tarea de destinar suficientes tierras húmedas para el acomodamiento de una población estable de aves acuáticas, mediante ese doble propósito.

SAMUEL P. SHAW, *graduado de la Universidad de Massachusetts y del Colegio de Silvicultura del Estado de New York, es biólogo de la Oficina de Estudios Sobre Cuencas de Ríos del Servicio de Pesca y Fauna en Washington, Distrito de Columbia.*

WALTER F. CRISSEY, *graduado de la Universidad de Cornell, es jefe de la Sección de Inspecciones e Investigaciones del Servicio de Pesca y Fauna en Washington, Distrito de Columbia.*

Agua pura para las granjas y ciudades



La invasión del agua dulce por el agua salada

Garall G. Parker.

LA PENETRACIÓN GRADUAL del agua salada en los acuíferos de agua dulce es muy seria y se ha extendido mucho, ocurriendo en casi todos los estados y territorios. Es muy costosa en términos de dinero, tiempo, energía y productividad, y ha causado el abandono de los campos de pozos municipales y de los suministros industriales de agua. Ha arruinado tierras productivas de granja y destruido huertos, y ha desanimado o impedido el desarrollo industrial, estorbando de muchos modos las operaciones civiles y militares.

A menudo podemos ahorrarnos trabajos y molestias al planear obras privadas, de empresas o gubernamentales, si hacemos el mismo estudio cuidadoso de los suministros de agua que haríamos de los demás elementos de construcción, diseño de ingeniería, contabilidad de costos, análisis de mercados y otros factores que se refieren al funcionamiento adecuado de las obras proyectadas; pero a menudo descuidamos los factores que afectan los suministros de agua, uno de los cuales es la invasión del agua salada.

Por lo tanto, debido a un planeamiento inadecuado, los proyectos de riego pueden fallar y los campos pueden saturarse y quedar blancos como la nieve con las acumulaciones de álcali; las plantas industriales se cierran porque se secan los pozos y el agua empleada en los diversos procesos se vuelve demasiado mineralizada para que pueda usarse; las ciudades pueden abandonar los suministros de agua que usaron durante largo tiempo, buscando su reemplazo a medida que el agua salada acaba con el agua dulce, que alguna vez se creyó que era inagotable.

La invasión del agua salada significa algo más que la intromisión del agua de los océanos en las aguas dulces. Como lo usamos aquí en su sentido más amplio, el término de "invasión del agua salada" incluye sales de sodio, calcio, magnesio, potasio y otros elementos más raros. En general, si los sólidos disueltos en las aguas invasoras exceden de 1,000 partes por millón (ppm), se clasifican como aguas saladas y se consideran en el presente artículo.

LA FUENTE ORIGINAL de toda la sal se encuentra en el material rocoso de la tierra misma. Cuando las lluvias o las nieves caen en la tierra, el agua contiene muy poca materia mineral disuelta, pero esto no dura mucho. A medida que se

mueve sobre la tierra o a través de ella y de las rocas, comienza inmediatamente a disolver sus elementos constitutivos más solubles. Las cantidades y clases de materiales disueltos dependen grandemente de la naturaleza de los materiales de la tierra con los que el agua queda en contacto y del lapso de tiempo que dura ese contacto.

Desde las tierras altas, el agua que no se evapora o transpira se mueve a las tierras bajas y, eventualmente, va a dar al mar o a un lago sin salida, y puede entrar posiblemente a la lenta y profunda circulación del sistema de agua del suelo, conservándose durante siglos en los depósitos artesianos. Cualquiera que sea su curso, el agua se vuelve más y más mineralizada con el tiempo.

Por lo tanto, los océanos son salados debido a los sólidos disueltos que se vacían en ellos por la descarga de agua de las tierras.

Comenzando con agua dulce, un río vacía sus aguas parcialmente mineralizadas en el océano, en donde las sales se concentran por evaporación. Algunos lagos interiores, tales como el Gran Lago Salado, se han vuelto salados en esa misma forma. En muchos sitios hay mantos de sal de roca, sulfato de calcio anhidro, yeso, boratos y otras substancias evaporables. Muchos de esos depósitos se formaron en el lejano pasado cuando había condiciones favorables para que se evaporaran grandes cantidades de agua de mar, como ocurrió en los sitios en que los movimientos de la corteza terrestre o la formación en bancos separó algunos brazos de mar o partes de los océanos de la masa principal de agua. Las áreas separadas pueden recibir nuevos suministros de agua de los océanos a través de una abertura en las barreras, por filtración a través de ellas o por desbordamientos ocasionales sobre las mismas barreras. Es posible que esas separaciones sean tan completas que no puedan recibir agua adicional de los océanos, y las aguas atrapadas eventualmente se disipan por completo, dejando depósitos evaporables en donde alguna vez existió una porción de mar rodeada de tierra.

Los lagos salados interiores y los pantanos son fuentes locales de sal y pueden originarse de muchos modos, aunque ordinariamente se forman en áreas con climas calientes y secos. Las torsiones de la corteza terrestre o los procesos sedimentarios forman depresiones cerradas, y son buenos ejemplos de ello el Gran Lago Salado, en Utah, y el Lago Searles, en el sudeste de California. El influjo de agua dulce se concentra por evaporación, o el influjo de aguas ligeramente saladas se concentra aún más, formándose así un lago o pantano salado, y frecuentemente ambos. Esas condiciones pueden ser responsables de la formación de depósitos de sal, salmueras aguas madres de sal completamente distintas de las que se forman en los océanos o cerca de ellos.

No es raro encontrar salmueras en las rocas de la corteza terrestre, y a menudo se asocian con el petróleo y los gases, aunque ocurren frecuentemente en sitios donde no hay campos de petróleo ni de gases.

Indudablemente muchos de esos depósitos de salmuera son innatos, es decir, el agua quedó atrapada en los sedimentos a medida que se depositaban en el mar. Indudablemente, también, muchas de esas aguas innatas se han modificado desde que se depositaron, muchas se han enriquecido por reacciones químicas subsecuentes con los depósitos adyacentes de roca o que las guardan, y se han vuelto así mucho más saladas. Otras han sufrido cierta dilución con aguas más dulces que circulan en los profundos depósitos de agua del suelo.

Semejante a los aguas innatas, pero de origen posterior, es el agua residual, que se encuentra a menudo en los depósitos de agua del suelo de las áreas costeras modernas. La mayoría de esas aguas saladas tuvieron acceso a los acuíferos cuando la tierra estaba inundada a gran altura por los mares de las épocas glaciales. Actualmente la mayoría de las aguas residuales han sufrido grandes modificaciones en su condición original; ordinariamente se han diluido y han sufrido cambios de bases o de cationes. Este es un proceso que ocurre naturalmente y por medio del cual el calcio (o el magnesio) del agua puede intercambiarse por sodio (o potasio) en los

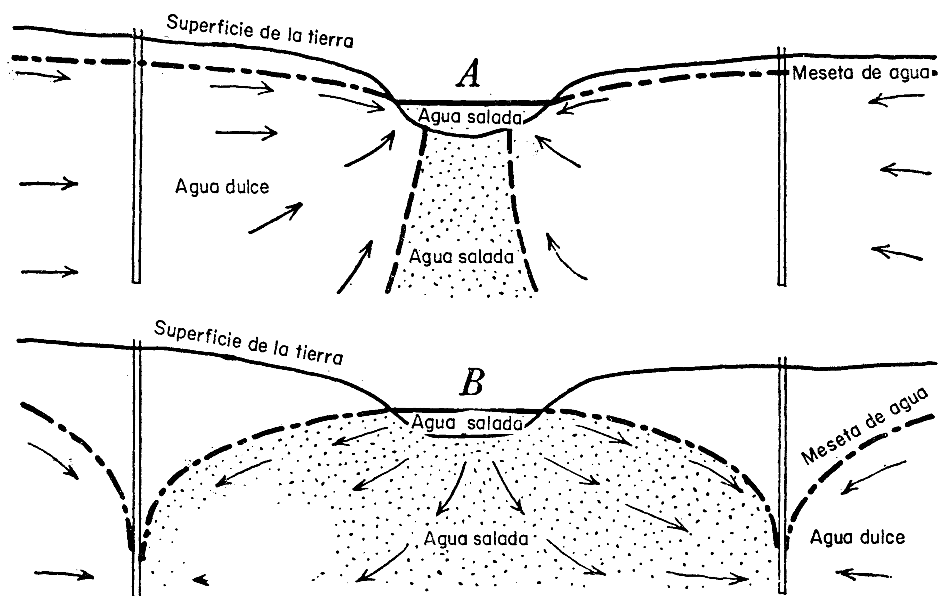


FIG. 1. Este diagrama muestra las condiciones de agua del suelo en la proximidad de una corriente de marea que ordinariamente lleva agua salada en su lecho. Las flechas indican la dirección del flujo del agua del suelo. El agua salada se encuentra bajo el lecho de la corriente en forma de prisma trapezoidal. *A,* muestra el movimiento en condiciones naturales antes de que ocurra el bombeo. *B,* muestra el movimiento durante el bombeo de agua del suelo. Un cono de depresión rodea cada pozo que se ha bombeado, la meseta de agua baja y el agua salada invade el acuífero.

depósitos de roca, o viceversa, dependiendo de las condiciones locales.

Otra fuente de agua salada se encuentra a gran profundidad bajo la corteza terrestre, en donde el agua es un constituyente químico normal de las soluciones de roca que se conocen como magma. Este tipo de agua ocurre más abajo del límite inferior del agua libre líquida en los intersticios de la roca. En sitios donde el magma sube hasta las zonas superiores de la corteza terrestre, se solidifica finalmente en forma de rocas tales como el granito, y durante ese proceso se libra el agua que anteriormente se encontraba disuelta o combinada químicamente con otros minerales. Esas aguas de formación reciente se conocen con el nombre de aguas juveniles.

Las aguas juveniles pueden escapar por filtración a las rocas superiores o circunvecinas ya existentes, o pueden salir a través de los volcanes, manantiales termales o geiseres; pero no todas las aguas ni siquiera la mayoría de ellas, de los manantiales termales o geiseres son aguas juveniles. Gran parte de ellas son de origen meteórico (pluvial), que penetran a profundidades donde quedan en contacto con rocas ígneas calientes, subiendo entonces a la superficie, a menudo en forma espectacular, como sucede en el Parque Nacional de Yellowstone.

Algunas de las actividades del hombre aumentan el contenido de sal de las aguas naturales y crean, por lo tanto, nuevas fuentes de salinidad, especialmente algunas prácticas de riego y procedimientos industriales.

NORMALMENTE LAS AGUAS DE RIEGO contienen algunas sales, y cuando las aguas se evaporan de la superficie de la tierra o son transpiradas por las plantas, dejan tras ellas las sales. Si no se hacen provisiones para la remoción de éstas, se acumularán hasta que la tierra se vuelva inútil para la labranza. Si el desagüe es satisfac-

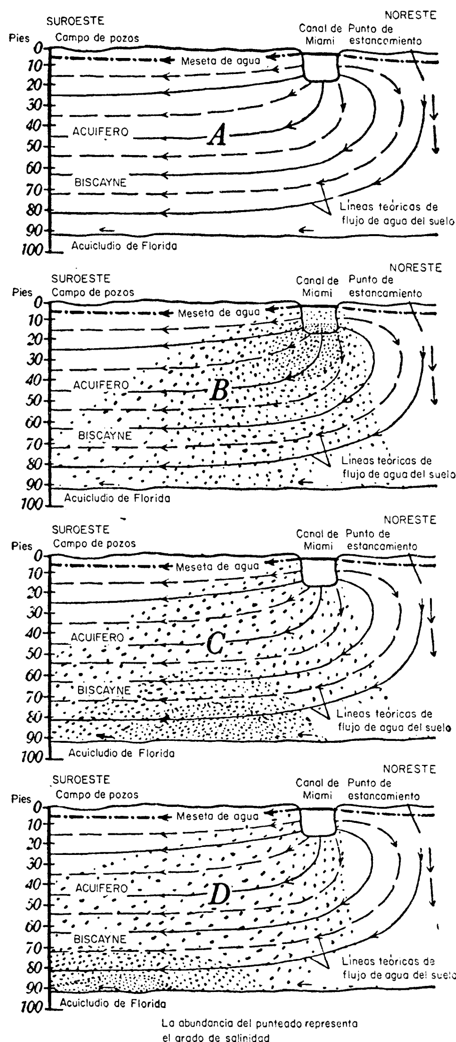


FIG. 2. Diagrama de corte seccional que muestra la invasión de aguas saladas por el agua del canal en Miami, Florida. *A.* El canal contiene solamente agua dulce y debido al bombeo cercano queda más alto que la meseta de agua adyacente. El agua se mueve del canal al acuífero hacia los campos de pozos a la izquierda del diagrama. *B.* El agua salada se mueve en el canal y escurre de los lados y lecho del mismo, ocurriendo primeramente la mayor concentración de agua salada inmediatamente abajo del canal. *C.* El agua dulce ha reemplazado al agua salada en el canal y el agua salada del acuífero Biscayne queda interrumpida en su fuente, hundiéndose hasta la base del acuífero y creando un montículo de agua salada que tiene las mayores concentraciones de cloruros en su fondo. El montículo se mueve hacia el Sudoeste en dirección del gradiente local de agua del suelo. *D.* Aplanado y considerablemente diluido, el montículo de agua salada se ha movido hacia el campo de pozos, de donde se removerá con los suministros municipales de agua.

torio y el flujo es suficiente para lavar y arrastrar de un campo las sales acumuladas por los riegos, las aguas privadas de acuíferos o corrientes superficiales hasta los riegos de otras granjas. A medida que el agua se mueve del extremo superior al inferior de un valle de regadío o cuenca de río, puede volverse tan excesivamente mineralizado que no pueda usarse más cuando llega a la parte inferior.

Algunas operaciones industriales, mineras y petrolíferas, crean también nuevas fuentes de salinidad. Ejemplos de lo anterior son las mezclas amargas de desperdicios (aguas madres) que quedan después de la refinación de la sal de mesa; la producción de magnesio de las salmueras; las aguas saladas que brotan a la superficie con el petróleo en muchos campos petrolíferos, y las aguas mineralizadas de desperdicio procedentes de algunas minas.

EL AGUA SE VUELVE MÁS PESADA y densa a medida que aumenta su salinidad. El agua destilada, que no contiene sólidos disueltos, es la norma para medir la gravedad específica y se le asigna un valor de 1.000. El agua normal de los océanos, que contiene aproximadamente 35,000 partes por millón de sólidos disueltos (incluyendo alrededor de 19,350 partes por millón de cloruros), tiene una gravedad específica aproximada de 1.025. Por lo tanto, el agua dulce es aproximadamente 40/41 menos pesada que la del océano.

S. K. Love, químico de la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica, hizo los siguientes análisis del agua del Océano Atlántico a lo largo de Miami Beach, Florida, en mayo de 1941: Calcio, 423 ppm; magnesio, 1,324 ppm; sodio, 10,970 ppm; potasio, 429 ppm; bicarbonatos, 147 ppm; sulfatos, 2,750 ppm; cloruros, 19,770 ppm, y bromuros, 49 ppm.

Como el agua del mar es más pesada y densa que el agua dulce, los dos líquidos tienden a separarse. El agua dulce

ocupa la posición superior sobre el agua salada; pero si hay turbulencia en donde el agua de los océanos y el agua dulce quedan en contacto, se mezclan rápidamente.

En las extensiones de mares de las corrientes, en las que el agua salada de los océanos tiene libre acceso a los canales de las corrientes y en las que el flujo de agua dulce no es lo suficientemente fuerte para arrastrar hacia afuera el agua del mar, el agua salada ocupa generalmente las porciones inferiores de los lechos y se extiende tierra adentro en forma de cuña achatada que se mueve hacia arriba y hacia abajo con las mareas.

AUN CUANDO UNA CORRIENTE PENETRE al océano o a una bahía, el agua dulce conserva su identidad a mayor o menor distancia, dependiendo de factores tales como la aspereza del fondo y la fuerza y dirección de los vientos. Este aspecto es sólo uno de una clase general de fenómenos que se conocen como corrientes de densidad. Se comportan en igual forma el agua dulce y fría que fluye en un volumen de agua dulce más caliente, o el agua dulce y lodosa que fluye en un volumen de agua dulce y limpia.

A medida que el agua dulce fluye hacia el mar sobre una cuña de agua salada en un canal de mareas, el agua dulce resbala sobre la parte superior del agua salada apenas se entremezclan sus superficies, especialmente en la zona de contacto corriente arriba. En las cercanías del océano la zona de mezcla se vuelve más gruesa y desaparece en algún sitio corriente abajo o en el océano, dependiendo del volumen del flujo de agua dulce.

Puede ocurrir un régimen complejo de flujo con las cambiantes etapas de río y océano y con las diferencias de carga resultantes entre el agua dulce y el agua salada. Puede cesar por completo el flujo de agua dulce hacia el mar mientras que el agua salada se mueve tierra adentro, y tanto el agua salada como la dulce pueden fluir tierra adentro al mismo tiempo, o fluir hacia el mar al mismo tiempo, aunque no necesariamente en la misma proporción, o el agua del mar puede fluir tierra adentro mientras que el agua dulce fluye hacia el mar. Esto último es muy común durante los periodos de invasión.

CUANDO LAS CORRIENTES DE LAS MAREAS llevan ordinariamente agua salada en sus canales, hay un prisma alargado de agua salada debajo y a lo largo de los cursos de las mareas si las rocas que se encuentran debajo de ellas son permeables y quedan conectadas hidráulicamente con las corrientes, lo que se debe también a las diferencias de densidad y peso entre el agua salada y el agua dulce. El agua salada simplemente se hunde hacia abajo hasta el fondo de las rocas permeables inferiores y llena el acuífero de alto a bajo, y el agua dulce del suelo fluye hacia el agua salada y por sobre de ella a medida que se descarga en la corriente.

Esta situación se muestra en el bosquejo de la figura 1, tomada del informe de 1952 rendido por R. R. Bennett y R. R. Meyer sobre el área de Baltimore, Maryland. Cuando en esa área se inicia el bombeo de agua del suelo y se continúa hasta que la meseta de agua se abate bajo el nivel del agua de las corrientes adyacentes, el agua salada emigra hacia los pozos y la cuña de agua salada se ensancha proporcionalmente. Eventualmente el agua salada llega a los pozos (como se muestra en la figura 1 B,) y el daño queda hecho. La restauración del agua dulce a su posición original y el equilibrio con el agua salada en esa área es una tarea larga y difícil, si no imposible, y puede ser muy costosa.

UN ESTUDIO DE LO QUE OCURRE cuando el agua salada avanza corriente arriba más allá del límite normal de su cuña en un canal de mareas, se llevó a cabo por el autor y otros miembros de la Inspección Geológica en el área de Miami, Florida, principiando en 1940.

Los depósitos permeables de agua del suelo, de piedra caliza y arena, del área de Miami, se conocen con el nombre de acuífero Biscayne, que tiene un espesor aproximado de 100 pies y abajo del cual hay margas relativamente impermeables que forman la parte superior del manto de retención conocido como acuicludio de Florida. Altamente permeable, el acuífero

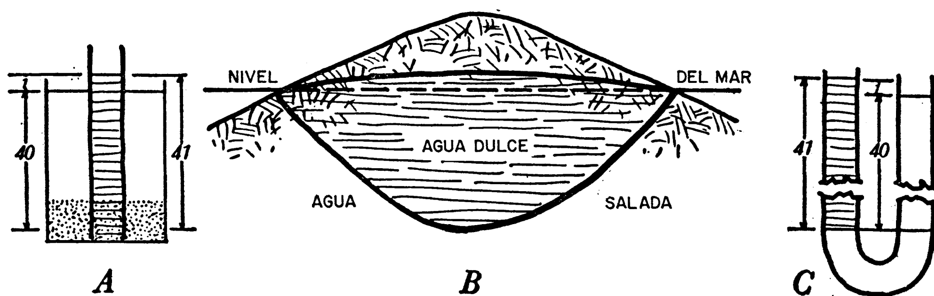


FIG. 3. Tres diagramas que muestran las relaciones entre el agua salada y la dulce, de acuerdo con el principio de Ghyben-Herzberg. *A*. Un pequeño tubo de fondo abierto que contiene agua dulce se coloca en un recipiente más grande que contiene agua salada y arena. En el diagrama, la arena se indica por el punteado. El agua dulce es libre de moverse hacia abajo, pero no lo hace más allá de un punto de equilibrio con el agua salada más pesada. El agua dulce queda sobre el agua salada. *C*. Tubo en U que contiene agua dulce en el lado izquierdo y agua salada en el derecho. Como ocurre en *A*, el agua dulce queda más alta que el agua salada, en proporción de 51 unidades de altura contra 40 unidades. *B*. Corte seccional ideal de una isla permeable en el mar. En ella el agua de lluvia se ha filtrado en la arena produciendo un lente de agua dulce que deprime el agua más pesada del océano. Al igual que un iceberg flota en el océano, quedando sumergida la mayor parte de su masa, el lente de agua dulce flota en el agua salada y sobre ella. Las lluvias periódicas alimentan el lente de agua dulce.

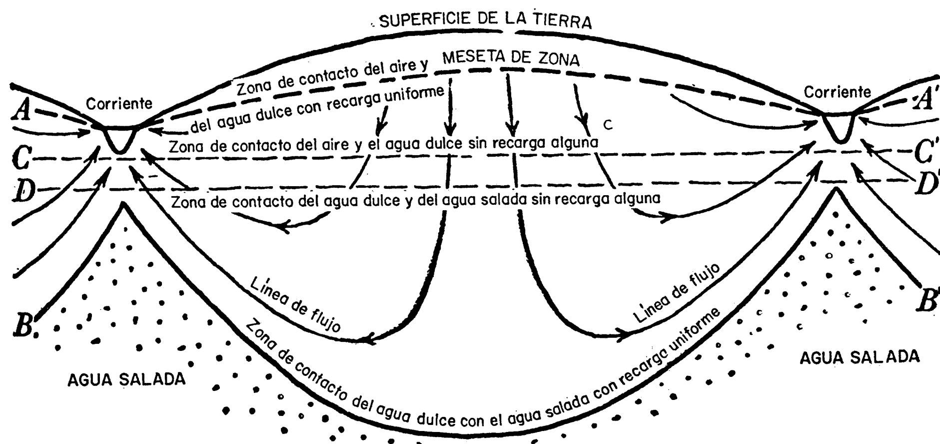


FIG. 4. Corte seccional ideal que muestra las relaciones de las zonas de contacto entre el agua dulce y la salada en un acuífero uniformemente permeable. Dos corrientes dividen la superficie de la tierra, y en épocas de lluvias suficientes, cuando la meseta de alta, la interceptan y desaguan el agua del suelo. Esta situación se muestra por la línea de meseta de agua A-A'. Si no hay recarga, la meseta de agua se unde fuera del alcance de las corrientes, línea C-C'. El agua salada que se encuentra bajo el agua dulce reacciona a la condición de recarga, como se muestra por la línea B-B', y el agua dulce que se encuentra arriba de ella fluye hacia abajo y hacia afuera, como se indica por las flechas. El agua salada que se encuentra bajo el agua dulce reacciona a la condición de falta de carga, como lo muestra la línea D-D'.

se iguala a la grava limpia y bien lavada en su capacidad de transmisión del agua. El Canal de Miami divide la parte superior del acuífero y normalmente desagua grandes cantidades de agua del suelo en el mar, mientras que la cuña de agua salada permanece en las extensiones inferiores del canal, retenida a 2 ó 3 millas tierra adentro de la Bahía Biscayne por la descarga normal del canal.

Sin embargo, en 1939, después de poco más de un año de lluvias menos abundan-

tes que lo normal, la descarga del canal disminuyó a menos de la velocidad crítica, y la cuña de agua salada comenzó a moverse tierra adentro, dentro del lecho del canal. Eventualmente el agua salada llegó a más de 10 millas tierra adentro de la bahía y escurrió hacia abajo dentro del acuífero de agua dulce a todo lo largo del canal ocupado por la cuña de agua salada. Cuando esto ocurrió en la sección de canal que se encuentra enfrente del campo de pozos de suministro público de Miami, pronto aparecieron las aguas saladas invasoras en los pozos de suministro más cercanos al canal. Poco tiempo después cayeron abundantes lluvias que recargaron el acuífero y restablecieron el flujo normal del canal. La cuña de agua salada en el mismo retrocedió hasta su posición normal y el canal adyacente al campo de pozos quedó lleno solamente de agua dulce.

Sin embargo, no se pudo remover tan fácilmente la carga de agua salada que había penetrado dentro del acuífero. Separada de su fuente y rodeada por todos lados de agua dulce, creó un manto de agua salada que permaneció en el fondo del acuífero. Ese manto se aplanó y extendió gradualmente hacia los lados como lo haría un trozo de asfalto que se deja en un pavimento caliente.

ARRASTRADO POR EL MOVIMIENTO prevaleciente del agua del suelo hacia el centro del campo de pozos, el manto de agua salada avanzó lentamente, y a medida que lo hacía, se diluía continuamente con el agua dulce y se bombeaba también gradualmente hacia afuera como parte del suministro municipal. A la larga, ese manto de agua salada acabó por consumirse totalmente. Las figuras 2 A, B, C y D ilustran esta serie de acontecimientos.

Los principios que rigen las relaciones del agua dulce con la salada pueden ilustrarse con el ejemplo ideal de una isla circular de arena permeable rodeada por el océano y que cuenta con lluvias suficientes para permitir el desarrollo de un volumen de agua del suelo en la arena.

En esas circunstancias ocurre un volumen de agua dulce en forma de lente que flota y está en equilibrio con el agua del mar que se encuentra abajo, como muestra la figura 3 B. Como el agua dulce del suelo es 40/41 menos pesada que el agua normal de los océanos, una columna de 41 pies de altura de esa agua dulce tendrá el mismo peso que una columna de 40 pies de agua del mar. Esto se muestra en las figuras 3 A y C. Por lo tanto, por cada pie que el agua dulce de ese sistema que el agua dulce quede sobre el nivel del mar, se extiende 40 pies bajo ese mismo nivel, lo que está de acuerdo con el principio de Ghyben-Herzberg que nos es tan familiar para calcular la profundidad del agua salada en un acuífero permeable libre cuya parte superior contiene agua dulce. El principio, basado en una situación estática de tubo en U, establece que la profundidad al agua dulce es igual a una distancia de S-1 veces la altura de la meseta de agua sobre el nivel del mar, en donde S es la gravedad específica del agua salada.

AL EXAMINAR LAS RELACIONES del agua dulce con la salada en el acuífero Biscayne del área de Miami, Florida, Russel H. Brown y el autor, ambos de la Inspección Geológica, encontramos que los datos de campo observados se acercaban considerablemente a los de los investigadores europeos, especialmente los de W. Badon Ghyben, Baurat Herzberg y J. M. K. Pennick. Especialmente los resultados obtenidos por Pennick en los polders de Holanda son semejantes a los encontrados por Brown y por mí. La zona de difusión entre el agua dulce y el agua salada en ambas áreas tiene un espesor aproximado de 60 pies, y el isocloro de 1,000 ppm queda a mitad de la zona.

En el área de Miami se encontró que la zona de contacto entre el agua salada y el agua dulce en el extremo de tierra de la cuña invasora de agua salada, era un poco más baja de lo que debería ser de acuerdo con el principio de Ghyben-Herzberg, y se cree que esta divergencia se debe a la acción conjunta de dos fuerzas que no se incluyen en los cálculos de Ghyben-Herzberg: El efecto de depresión que el flujo de agua dulce tiene en la cuña, como lo sugiere M. King Hubbert en su teoría del movimiento del agua del suelo, y la destrucción de la orilla fron-

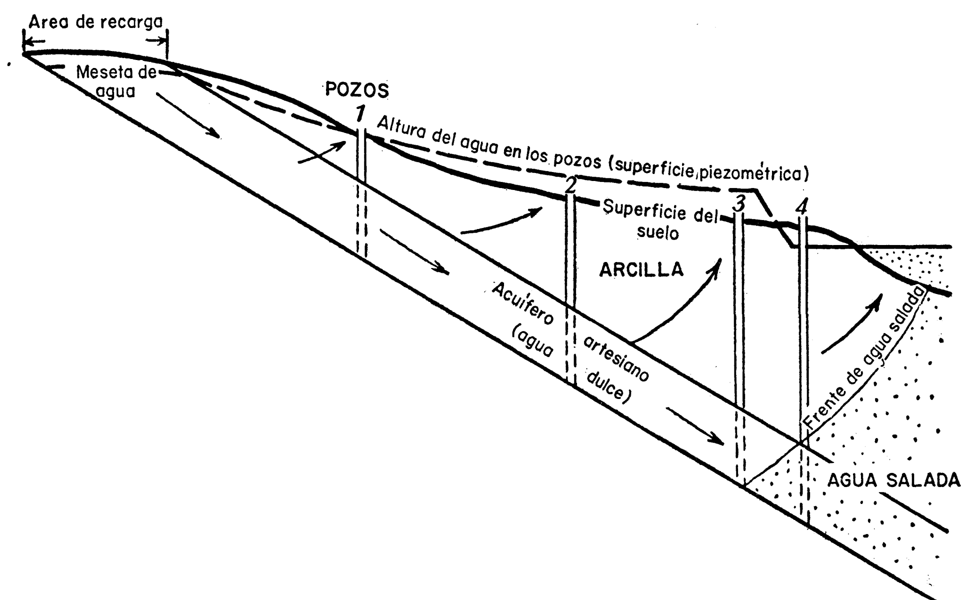


FIG. 5. Diagrama ideal de un corte seccional mostrando las relaciones entre el agua salada y la dulce, en donde los acuíferos artesianos costeros se extienden a ciertas profundidades bajo el mar. Esto podría ocurrir casi en cualquier parte a lo largo de la costa del Atlántico, desde Long Island, New York, a Florida, a lo largo de la costa del Golfo, desde Florida hasta México, o a lo largo de ciertas porciones de la costa del Pacífico. Ocurren condiciones hidrológicas semejantes en algunas de las islas Hawaii y en otras partes. El acuífero artesiano se extiende tierra adentro desde la costa, en donde se recarga por las lluvias. En esa área, el acuífero tiene contacto libre entre el aire y el agua (meseta de agua). El acuífero que se inclina hacia abajo queda cubierto por arcilla relativamente impermeable, y el agua confinada (artesiana) se eleva en los pozos a mayor altura en la parte superior del acuífero. El nivel a que llega en los pozos define la superficie piezométrica. Nótese la caída abrupta de la superficie piezométrica entre los pozos 3 y 4, debida a que el pozo 4 termina en la zona de contacto con el agua salada.

tal de la cuña invasora de agua salada causada por su mezcla con el agua dulce que fluye hacia el mar y que la arrastra consigo, y ayudan a esa mezcla las fuerzas de difusión molecular y la acción mecánica del empuje y succión de las mareas en la parte de la zona costera del acuífero.

Cuando se encuentra lejos de las playas o de los grandes lagos salados interiores, el agua dulce del suelo puede quedar en contacto con el agua salada en los acuíferos permeables. Por ejemplo, si existen condiciones estáticas de falta de recargo, el agua dulce flotará en forma de manto plano, como se muestra por las líneas C-C' y D-D' en la figura 4. (Esta situación es teórica, porque si no hubiera recarga, el agua dulce y el agua salada se mezclarían finalmente por difusión.) Sin embargo, si hay lluvias suficientes para proporcionar una recarga uniforme del volumen de agua dulce, se producirá un lente de Ghyben-Herzberg, la meseta de agua se volverá convexa y la zona de contacto entre el agua dulce y la salada formará una concavidad como se muestra en las líneas A-A' y B-B' en la figura 4. Los trabajos de John G. Ferris, de la Inspección Geológica, efectuados en Michigan, han indicado que la descarga de aguas innatas a impulso de las continuas recargas, deprime la superficie de contacto del agua dulce con la salada a profundidades inferiores al nivel de las corrientes, como se indica en la sección esquemática (figura 4), y que esas profundidades son casi proporcionales a la altura de la meseta de agua sobre el nivel de agua de las corrientes. El principio de Ghyben-Herzberg exige una proporción de 40 a 1 si se trata de aguas saladas con graveded específica de 1.025. Sin embargo, esta pro-

porción no se aplica estrictamente en áreas adyacentes a las corrientes, en donde las líneas de flujo de agua del suelo son sumamente convergentes.

En sitios en donde los acuíferos artesianos de las aguas costeras quedan bajo el nivel del mar y conectados hidráulicamente con éste, el agua dulce de los mismos queda en equilibrio con el agua salada en una relación modificada de Ghyben-Herzberf. En la figura 5 se expresan las relaciones generales entre el agua salada y la dulce, basándose en los trabajos de R. R. Bennett y R. R. Meyer en el área de Baltimore, Maryland.

Las invasiones de agua salada que ocurren naturalmente, las intromisiones del agua salada en los medios de agua dulce, son tan antiguas como la historia geológica de la sedimentación, y ocurren en la naturaleza en una gran variedad de formas diferentes. Una y otra vez los mares han invadido los continentes sólo para retirarse eventualmente a las cuencas oceánicas, y cada vez que han avanzado, un medio de agua salada ha reemplazado a otro de dulce, y no sólo se han depositado mantos de sedimentos marinos, sino que éstos han incluido depósitos salados.



Se cree que está ocurriendo una lenta elevación del nivel de los mares en todo el mundo, aunque en los Estados Unidos de Norteamérica sólo contamos con unos cuantos registros precisos de largo tiempo de esos niveles del mar. Los primeros registros precisos se iniciaron en el puerto de New York en 1893, y otros se efectuaron en San Francisco en 1898; en Seattle en 1899; en Baltimore en 1902; en San Diego en 1905; en Galveston en 1909; en Kew West, Florida, en 1912; en Pensacola, Florida, en 1914; en Ketchikan, Alaska, en 1914, y en Mayport, Florida, en 1929. Nuestros registros, geológicamente hablando, abarcan un periodo de tiempo sumamente corto y las predicciones que se basaran en ellos podrían ser absolutamente erróneas.

En general, durante el periodo de registro, las estaciones de la costa del Atlántico mostraron muy pocos cambios en el nivel del mar hasta 1930, en que se inició un aumento bien definido. La proporción de aumento en esa zona es aproximadamente de 0.02 de pie al año, o 2 pies en 100 años. Por lo tanto, desde 1930 ha habido un aumento en la altura del nivel del mar a lo largo de la costa del Atlántico, aproximadamente de 6 pulgadas. Las estaciones del Golfo indican también generalmente un aumento aproximado de 0.02 de pie al año; pero en Galveston, Texas, la proporción de aumento durante el mismo periodo ha sido de 0.03 de pie al año.

Las estaciones costeras del Pacífico han mostrado un aumento aproximado de una tercera parte del registrado en las estaciones atlánticas, a excepción de la estación de Ketchikan, que está registrando una declinación, lo que se debe sin duda a la torsión hacia arriba de la corteza terrestre en esa área, que está produciendo un aumento de altura en la línea costera.

Los cambios en el nivel del mar, de naturaleza relativamente prolongada, pueden resultar de varias causas, siendo las más importantes la torsión de la corteza terrestre o las fracturas que producen aumentos o disminuciones de las cuencas oceánicas y cambios en la cantidad total

de agua almacenada como hielo glacial en la tierra.

Los registros existentes indican que los glaciares se están fundiendo en mayor proporción que su renovación, lo que libera agua a los océanos, aumenta el volumen oceánico total y, por lo tanto, hace que suba el nivel del mar. Se calcula que si se fundiera todo el hielo glacial de la tierra, el nivel del mar subiría más de 100 pies.

Sol. M. Lang, de la oficina de la Inspección Geológica en Trenton, New Jersey, ha calculado que si continúa la elevación del nivel del mar a su proporción actual de 2 pies por siglo, el contacto entre el agua salada y la dulce en los acuíferos costeros de New Jersey retrocederá tierra adentro en proporción aproximada de 1 a 4 millas por siglo, dependiendo de la inclinación de los acuíferos, lo que crearía una grave situación en New Jersey y otras áreas costeras que se afectaran en forma semejante.

En las áreas costeras planas y de mesetas, una pequeña elevación del nivel del mar puede resultar en una amplia invasión de éste tierra adentro, aunque sólo cause un pequeño aumento en el nivel de agua salada. Cuando las áreas costeras tienen playas muy pendientes, la invasión lateral de la superficie sería inapreciable, aunque podría ser considerable la invasión lateral en los acuíferos que tengan una inclinación moderada en donde ocurran.

Las alzas locales y temporales del nivel del mar pueden causar invasiones de aguas saladas, y a menudo esas elevaciones temporales van acompañadas de prolongados y fuertes vientos a lo largo de la costa, que empujan las aguas del océano hacia las costas de mesetas con pendientes leves o hacia las bahías y estuarios con bocanas relativamente anchas que ven hacia el mar y playas costeras en forma de V. En esas ocasiones las grandes planicies adyacentes a las costas pueden también quedar invadidas por el agua salada.

Aunque las aguas saladas penetran rápidamente en esas áreas, no se remueven tan fácilmente de las tierras ni del agua del suelo. Casi todos los estados costeros tienen algunas áreas que quedan afectadas por la invasión natural de aguas saladas de esta clase.

En sitios donde ocurre la torsión hacia abajo de la corteza terrestre, el efecto es semejante a la elevación del nivel del mar y en ellos los acuíferos quedan expuestos a las invasiones de agua salada en proporción directa a la velocidad de su inmersión bajo el nivel del mar.

Las invasiones de agua salada pueden ocurrir también en la naturaleza cuando los domos de sal de roca se abren paso hacia arriba a través de los acuíferos de agua dulce que los cubren. Las formaciones de domos de sal son consecuencia de las torsiones de la corteza terrestre, que comprimen los mantos de sal enterrados a suficiente profundidad para que ésta fluya en estado plástico. Cuando llega a un sitio débil en los estratos de roca que la cubren, la sal se abre paso hacia arriba, disminuyendo la presión en su manto. El movimiento del agua dulce del suelo a través de los domos de sal, como los que existen en Louisiana y Texas, puede disolver cantidades considerables de sal y arrastrar agua salada del suelo gradiente abajo de los domos de sal. En general, sin embargo, esto es factor principal sólo en unos cuantos casos conocidos de invasión de aguas saladas.

Los movimientos de la corteza terrestre que causan rupturas o fracturas de la misma, pueden producir invasiones naturales de aguas saladas. Esas fracturas pueden elevar los depósitos salinos que se encuentran enterrados hasta la superficie de la tierra, en donde las corrientes quedan en contacto con las sales, o hasta la parte superior de la corteza terrestre, en donde contaminan la circulación de agua del suelo.

Muchos manantiales salinos deben su origen a las fracturas, y en algunos sitios constituyen una fuente principal de agua salada. Ejemplo de esto son los manantiales termales de Clifton, que desaguan en un tributario del río Gila antes de que éste penetre al valle de Safford, en Arizona. John D. Hem, de la Inspección Geológica, en las investigaciones sobre manantiales que efectuó en 1950,

calculó que bajo diversas condiciones de descarga los manantiales termales de Clifton producen aproximadamente de 9,000 a 25,000 toneladas de sal anuales, o sea, casi de 25 a 70 toneladas diarias. Esos solos manantiales, con su descarga de 2 pies cúbicos por segundo, añaden, una pequeña cantidad de agua al río Gila, pero también una carga considerable de sal.

Las fracturas en gran escala han dado por resultado el desarrollo de la cuenca y región de praderas del Oeste. Los estratos que antes eran planos se han roto en grandes bloques de tierra, inclinándose y desmoronándose, empujando en un extremo y hundiéndose en el otro. El resultado es una gran área desértica de desagüe interior que tienen muchos valles con corrientes que no fluyen hacia afuera. Se llaman playas a las cuencas planas o áreas de resumidero del fondo de los valles.

En un principio los valles eran dominios de agua dulce. A medida que transcurrieron los años y las sales se acumularon debido a la evaporación y a la concentración subsecuente de materias salinas en las playas, las invasiones de agua salada se hicieron dominantes y el proceso continúa hasta la fecha. El Valle de la Muerte es uno de esos valles de bloques de fracturas mejor conocidos.

Aun cuando ocurren esas formas de invasión natural de las aguas saladas, tienen lugar muy lentamente, y en cualquier tiempo dado en la historia de la tierra, el agua salada y el agua dulce en contacto, se encuentran en un estado de equilibrio bastante estable. Bajo condiciones naturales pueden necesitarse siglos, o aun épocas geológicas, para que ocurran cambios significativos; pero cuando se deja sentir la influencia del hombre, ordinariamente esos cambios se llevan a cabo con gran rapidez.

El desagüe de los Everglades ofrece un buen ejemplo de los resultados que siguen a los cambios de ambiente debidos al hombre. Nadie pudo prever en 1910 que el desagüe de las tierras pantanosas causaría un exceso de desagüe de los montículos costeros en donde se encuentran Miami y las demás ciudades de la costa oriental de Florida, ni aunque los entusiastas del desagüe hubieran previsto que la meseta de agua que se encuentra debajo de Miami bajaría inevitablemente como consecuencia de las operaciones de desagüe, habrían podido prever las extensas y costosas invasiones de agua salada que se han convertido en un grave problema en esa área.

El descenso aproximado de 5 pies de la meseta de agua de Miami destruyó el equilibrio natural entre el agua dulce y la salada, y ésta comenzó una invasión tierra adentro que ha costado a la ciudad dos campos principales de pozos (Spring Gardens y Coconut Grove), y a sus habitantes, a lo largo del montículo costero, la utilización de miles de pozos privados.

Las cosechas de legumbres y frutas en las áreas costeras del condado de Dade, que incluye a Miami, han sufrido daños considerables, y a veces se han arruinado con la aplicación de aguas de riego insospechadamente saladas o con la subida del agua salada a las zonas de raíces a medida que todo el acuífero de las áreas costeras de pantanos, de alto a bajo, sucumbía a la invasión del Océano Atlántico y la Bahía Biscayne.

El condado de Dade ha iniciado un sistema de controles de agua para elevar sus niveles y para excluir el agua salada de los canales. Los planos exigen la instalación de estructuras permanentes de control de agua en todos los principales canales de mareas, así como en algunos secundarios, tan cerca de la Bahía Biscayne como sea posible. Los controles temporales colocados en algunas arterias de los canales en 1944 y 1945, han dado resultados muy significativos.

El dragado y ahondamiento de las vías costeras de agua produce a menudo invasiones de agua salada. Si esas operaciones de dragado permiten el acceso directo del agua salada a los acuíferos que antes sólo contenían agua dulce, o si la meseta de agua se baja tanto que se destruye el equilibrio de Ghyben-Herzberg (como ocurrió en Miami), es inevitable que ocurran invasiones de agua salada. Este es un aspecto que hay que

considerar en el proyecto de plan para profundizar el río Delaware dragándolo entre Philadelphia y Trenton. Si al tiempo de efectuar el dragado se construyen obras para controlar el flujo de la corriente y detener el agua salada, disminuirá considerablemente la amenaza de invasión de las aguas saladas. A mediados de la década de 1930 se inició la construcción de un canal al nivel del mar a través de Florida; pero el temor de bajar los niveles de agua y de las invasiones de agua salada, hizo que se abandonara el proyecto.

El tipo más común de invasión de agua salada es el inducido por la utilización de los pozos. La invasión puede ocurrir en cualquiera de varias maneras diferentes. En las áreas costeras el bombeo de los pozos puede causar la baja de las mesetas de agua. Una vez que el cono de depresión que rodea un pozo o campo de pozos que se bombean llega a una fuente de agua salada, ésta fluye directamente al pozo o pozos.

En algunas áreas, los acuíferos de agua salada ocurren arriba o abajo de los acuíferos de agua dulce, o están interestratificados con ellos, estando los diferentes acuíferos separados unos de otros por capas de arcilla relativamente impermeables.

Los pozos que se perforan, sellan, terminan o desarrollan indebidamente, o los que se abandonan o gotean, pueden actuar como canales abiertos por el hombre para el movimiento directo del agua salada a los mantos de agua dulce, al que siguen las invasiones de agua salada. Este es un tipo común de invasión y ocurre en las áreas costeras y en muchas áreas interiores.

Debe considerarse otro aspecto de las invasiones inducidas por los pozos. Cuando se bombean los pozos que penetran a un lente de Ghyben-Herzberg, el agua salada subirá hacia el pozo que se bombea a medida que baja la meseta de agua; pero no reaccionará tan rápidamente como lo hace la meseta de agua y bombeo, ya que se lo impide la fricción de toda la columna de rocas que se extienden hacia abajo hasta la zona de contacto del agua salada con la dulce.

C. K. Wentworth, en un informe sobre la geología y recursos de agua del suelo del área de Honolulu-Pearl Harbor, en Oahu, Hawaii, señaló también que en materiales libremente permeables sube 40 veces más agua (o más) del fondo del lente, que la que baja de la parte superior del mismo. Por lo tanto, debemos esperar un gran retraso en la reacción del agua dulce al bombeo en la parte superior de un gran lente de Ghyben-Herzberg. En sitios donde los suministros de agua del suelo tienen que .desarrollarse de un sistema de esa índole, deben tomarse precauciones para evitar los prolongados y profundos abatimientos de la meseta de agua, y aun en los pequeños lentes de Ghyben-Herzberg pueden evitarse en gran parte o demorarse considerablemente las invasiones de agua salada mediante el prudente abatimiento de pozos poco profundos, galerías de infiltración o túneles desarrollados cuidadosamente.

Las invasiones de agua salada constituyen un problema importante en la mayoría de los estados productores de petróleo. A menudo se bombea más salmuera que petróleo, y en las primeras épocas, esa salmuera se esparcía en la superficie o se dejaba que penetrara en la tierra por medio de zanjas. Actualmente los medios de disposición acostumbrados son los siguientes: Las llamadas cuencas de evaporación, que son depósitos ordinarios de tierra, con los que se espera que el agua se evapore en lugar de infiltrarse; las corrientes superficiales que pueden o no diluir suficientemente el agua salada para que no cause daños; la reinyección en los estratos, a veces en las mismas arenas aceitíferas a cierta distancia de los pozos, o en ocasiones en otros estratos permeables.

Las cuencas de evaporación no han dado resultados satisfactorios. A menudo se requieren muchas de ellas para almacenar las enormes cantidades de agua salada que se extraen, y las cuencas se desbordan o retienen el agua salada sólo por cortos periodos de tiempo antes de

que se filtre a través de las paredes de tierra o hacia abajo en el fondo. Probablemente un caso típico de este medio de disposición de las salmueras de los campos petrolíferos es el que describe Alexander Nicholson, Jr., de la Inspección Geológica en New Mexico. Escribió que su área de estudio incluía la mayor concentración de pozos de petróleo en producción en el estado. Los primeros descubrimientos se hicieron en 1926, y se informó qre la producción total hasta el 1º de enero de 1954 fue de 494.771,797 barriles de petróleo y 514.254,699 barriles de salmuera (66,283 pies-acre).

Añadió: "Universalmente se dispone de las salmueras en el mismo sitio de los pozos o en las cercanías, vaciándolas en cuencas abiertas a fin de que se evapore el agua. Una pequeña cantidad de salmuera se usa para circulación en los equipos de perforación, y en el área hay un pozo para disponer de ella. Con esas excepciones, toda la salmuera se bombea a cuencas de desecho que son sencillas depresiones sin ningún revestimiento. Debajo de la mayor parte del área hay una gruesa capa de caliche que a menudo es impermeable, pero en muchas de las cuencas de desecho se ha destruido esa capa. Hay informes de casos en que se ha hecho esto para promover la filtración cuando la producción de salmuera excede de la capacidad de disposición de las cuencas. Ninguna de las cuencas examinadas muestra acumulaciones apreciables de precipitados, ni mucho menos acumulaciones que estén en relación con la salmuera que se produce.

"El promedio anual de temperatura en el área es aproximadamente de 60° F. y la humedad ordinariamente es baja, virtual de precipitación y a la concentración de la producción en una área relativamente pequeña (200 millas cuadradas), debe estar ocurriendo una cantidad considerable de filtración en el área."

La conclusión parece ser que está ocurriendo una invasión de las salmueras de los campos petrolíferos en los acuíferos de aguas dulces y potables del área relacionada.

La contaminación de las corrientes por el agua salada y las invasiones resultantes de los suministros públicos de agua, constituyen un problema importante. En ninguno de los estados productores de petróleo hay corrientes superficiales que estén libres de las salmueras de los campos petrolíferos. Antes era práctica común el vaciar las salmueras en las mismas corrientes, pero actualmente esto ha quedado prohibido en la mayoría de los estados o se están haciendo intentos para vaciarlas sólo cuando las corrientes fluyen en proporción tal que se efectúe una dilución suficiente.

Texas cuenta con más de 500 campos petrolíferos extensamente espaciados. Hubo un tiempo en que ese estado no contaba con leyes adecuadas para controlar la disposición de las salmueras de los campos petrolíferos, y éstas no sólo invadían los pozos y campos de propiedad privada, sino que los suministros municipales de ciudades tales como Beaumont, Longview y Graham se dañaron también. A lo largo del río Pecos, en los pequeños arroyos tributarios que desaguaban los campos petrolíferos, se encontraron contenidos de cloruro hasta de 46,000 partes por millón.

La inyección de las salmueras de los acuíferos que ya están tan salados que no pueden utilizarse en otra forma, es el medio más seguro para evitar las invasiones de aguas saladas causadas por los desperdicios de los campos petrolíferos. Es más costosa que las cuencas de evaporación o la descarga en las corrientes; pero debe practicarse más extensamente de lo que se ha hecho en interés de la conservación de nuestros recursos de agua. El agua que se regresa podría inyectarse de modo que sirviera como "empuje de agua" adicional para forzar el petróleo a las áreas de bombeo y ayudar a mantener las presiones en los depósitos. En algunas áreas, en donde los costos para los operadores individuales son demasiado altos, se han formado empresas para hacerse cargo de la disposición de las salmueras, para construir plantas y perforar pozos de inyección para todos los operadores que deseen utilizar sus servicios.

En su libro *La Civilización a Prueba*, Arnold Toynbee manifiesta que cuando

se encontraba en pleno auge, la civilización del valle del Tigris y del Eufrates contaba aproximadamente con 40 millones de habitantes que vivían en una prosperidad relativa. Actualmente viven menos de 5 millones en esa área y llevan una existencia precaria. El doctor Toynbee acusa a los mongoles de haber eliminado a 30 millones de gentes, lo que dio por consecuencia la caída de su civilización.

Sin embargo, A. Nelson Sayre, de la Inspección Geológica, da otras dos razones: La destrucción por los mongoles de los canales y compuertas del sistema de riego y la acumulación de sal en la tierra y en el agua del suelo (una forma de invasión de aguas saladas), que pueden haber hecho que la tierra se volviera estéril antes de la invasión de los mongoles.

El doctor Sayre cree también que las invasiones de aguas saladas resultantes del ascenso de las mesetas de agua podría ser un factor primordial en la caída de la gran cultura Pima que existió en el centro de Arizona, aproximadamente en los años 1100 a 1300. Los Pimas establecieron una civilización floreciente basada en los riegos, y construyeron un complicado sistema de canales que llevaba el agua del río Gila a una área de riego que puede haber comprendido 250,000 acres. Debido al uso excesivo del agua de riego en una área que carecía de suficientes desagües subsuperficiales, se elevó la meseta de agua y la tierra quedó saturada. Al mismo tiempo se hizo excesivo el contenido de sal del agua del suelo y las sales se acumularon en la tierra, una versión prehistórica de los primeros experimentos de los proyectos de riego del valle del río Salt. Como no tenían la capacidad para hacer descender la meseta de agua, los Pimas se vieron obligados a abandonar sus tierras.

Los hidrólogos modernos atacan los aspectos químicos de esos problemas, que actualmente se presentan en una gran parte de nuestra superficie de tierras de riego, mediante el estudio del "equilibrio de la sal". El término "concepto del equilibrio de la sal" significa que la cantidad de materiales solubles que deben removerse de la tierra y del agua del suelo en una área de riego debe igualar por lo menos a la cantidad que penetra al área, cualquiera que sea su origen.

Entre muchos ejemplos que muestran la gravedad del problema del equilibrio de la sal en nuestro país, puede citarse el valle del río Salt en Arizona. Esa área incluye las tierras del valle cerca de Phoenix y las de los valles tributarios más pequeños próximos a ella. El valle del río Salt es una estructura típica de extensión de cuencas. Sus lados están delimitados por fracturas, más allá de las cuales se elevan las montañas originadas por los bloques de las fallas. El valle o área de descenso se ha llenado en parte con arena, grava, sedimentos y arcillas, todos ellos desechos de las montañas. La capa de roca que se encuentra debajo del valle no es uniforme, y las fracturas transversales y una superficie irregular producida por la erosión en las rocas anteriores a la formación del valle han producido áreas superficiales y profundas depresiones de relleno. El agua superficial fluye en el lecho del río, y desde su fondo hasta la capa de roca el agua del suelo fluye en el mismo sentido general. Las aguas del río y del suelo están conectadas hidráulicamente y se intercambian libremente.

Tanto el flujo de las corrientes como el del agua del suelo trae agua a la parte superior del valle y remueven también el flujo saliente de la parte inferior del mismo. Los que necesitan agua para riegos han empleado la que se encuentra en tránsito una y otra vez.

Con cada una de esas utilizaciones el agua se vuelve más y más salada. John D. Hem, de la Inspección Geológica, calculó que en 1951 se depositaba en el valle un exceso de sal que era por lo menos de 150,000 toneladas, existiendo, por tanto, un serio problema de equilibrio de sal. Cuando puedan determinarse las causas de la acumulación local de sal, debe ser posible combatir la invasión de la sal prolongando indefinidamente la utilización de las tierras de riego.

Los desechos industriales se han

convertido en fuentes importantes de invasiones de aguas saladas en algunas partes de nuestro país. Una planeación adecuada y el empleo de ciertas precauciones evitarían las pérdidas innecesarias de nuestros preciosos suministros de agua debidas al descuido o indiferencia en el manejo de los desechos industriales. Sin embargo, siempre ha sido más fácil y menos costoso almacenar inmediatamente los desechos de aguas saladas en cuencas superficiales o vaciarlos en una corriente cercana, y la falta de leyes que controlen esa disposición indebida de los desechos ha hecho que muchas comunidades se encuentren impotentes para protegerse contra ellos.

En la actualidad se reconoce generalmente el peligro que entraña el manejo indebido de los desechos industriales. Muchos estados y comunidades han promulgado leyes reglamentarias y muchas plantas industriales han tomado voluntariamente las medidas adecuadas para controlar sus desechos salinos.

El valle del río Muskingum es un ejemplo de invasión de aguas saladas en una área industrial. Ese río desagua la parte oriental de Ohio y descarga en el río Ohio en Marietta. Dos tributarios del río Muskingum, el río Tuscarawas y el arroyo Chippewa, constituyen elementos principales del problema. Stanley E. Norris, de la Inspección Geológica, escribió lo siguiente sobre el problema en 1954: "La contaminación de las aguas saladas de los ríos Tuscarawas y Muskingum se debe a las descargas de desechos de cloruros de calcio y de sodio en el río Tuscarawas, arriba de Clinton, y a la descarga de desechos de cloruro de sodio en el arroyo Chippewa, en Rittman. Los desechos tienen su origen en la fabricación de substancias químicas de las salmueras saturadas artificialmente que se bombean de los depósitos de sal de roca que se encuentran en la parte superior de una superficie aproximada de 9,000 millas cuadradas en el este y nordeste de Ohio. Esos depósitos están asociados con la formación Salina, la formación básica del grupo Cayuga de la última Era Silúrica (depositada hace aproximadamente 325 millones de años). Los depósitos de sal tienen aproximadamente 150 pies de espesor en Barberton, y se encuentran a una profundidad aproximada de 2,750 pies.

"Los efectos de la contaminación de cloruros se extienden, por lo menos, hasta la boca del río Muskingum, a una distancia mayor de 110 millas del origen de los productos de desecho.

"Los suministros de agua del suelo bombeados de las gravas y arenas glaciales en los valles de Tuscarawas y Muskingum, han quedado afectados por la infiltración del flujo de las corrientes inducida en los acuíferos y debida al bombeo. Se han abandonado los pozos del sudeste de Barberton debido a la invasión de aguas saladas, y se ha encontrado que el agua del suelo del valle del Tuscarawas en esa área contiene más de 20,000 partes de cloruro por millón. Más al sur, en Coshocton, se abandonó el campo de pozos de la ciudad y se desarrolló un nuevo suministro, con un costo mayor de dólares 400,000.

"El problema de los cloruros en Zanesville es muy grave. La ciudad tiene 24 pozos, perforados en gravas glaciales a lo largo del río Muskingum. Los análisis periódicos de 1949 a 1950 mostraron que el agua variaba entre 80 y 222 partes por millón.

"En Marietta, en donde el suministro de la ciudad viene también de pozos en el valle del Muskingum, ha habido un marcado aumento de cloruros en los últimos 10 años."

La invasión de toda el área por el agua salada, proviene de las plantas de dos industrias principales, habiendo ambas tomado medidas para eliminar la contaminación causada por los desechos salados. Una de esas empresas anunció sus planes para disponer de sus desechos por medio de pozos en las zonas abandonadas de sus antiguos laboríos, y la otra encargó a una firma de consultores la formulación de planes para conrregir sus prácticas de disposición de los desechos; pero aun cuando esos desechos salados no sigan vaciándose en el valle del río Muskingum, pasarán muchas décadas antes de que se remueva la contaminación causada por las aguas saladas en los acuí-

feros y para que éstos vuelvan a su estado original.

Los PÁRRAFOS ANTERIORES han descrito la naturaleza general de las invasiones de aguas saladas. Para obtener datos más específicos sobre ellas y sobre los problemas de contaminación causados por la sal en los Estados Unidos de Norteamérica, consideremos los informes de los técnicos de la Inspección Geológica en 1954:

Arizona. L. C. Halpenny, Tucson: Existen graves problemas de invasión en diversas áreas, especialmente en los condados de Maricopa y Pinal. Sus fuentes consisten principalmente de depósitos de playas saladas formados en la Epoca Pleistocena y en la recirculación de aguas de riego en los valles de los ríos Salt y Gila. El primero es principalmente de efectos locales, pero el segundo es muy extenso.

Arkansas. P. Eldon Dennis, Little Rock: El agua salada se encuentra en las profundidades de algunos acuíferos que contienen agua dulce en su parte superior. Muchos pozos perforados en esos acuíferos se han vuelto salados, y algunos se han dañado a tal extremo que se han abandonado los campos de pozos de algunas ciudades, como ha ocurrido en Brinkley y Marianna.

California. J. S. Poland, Sacramento: Muchos sitios sufren las invasiones del agua salada y problemas relacionados con ella, especialmente algunas cuencas de agua del suelo próximas al Océano Pacífico. El bombeo excesivo en ellas ha hecho que la meseta de agua desciende bajo el nivel del mar, resultando en invasiones de agua salada. Las áreas de invasiones más serias se encuentran a lo largo de las cuencas costeras del oeste y sur de la planicie costera de Los Angeles, y en el valle de Santa Cruz alrededor de la parte sur de la bahía de San Francisco y en la desembocadura del valle del río Salinas. Han ocurrido invasiones menores entre la planicie Oxnard, en el condado de Ventura, y en algunos pequeños valles del condado de San Diego.

Al oeste de Long Beach y cerca de Santa Mónica, los acuíferos confinados y poco profundos de la época reciente están abiertos al océano, y bajo ellos se encuentran acuíferos de la Epoca Pleistocena. A lo largo de la costa del Oeste, desde las colinas de Palos Verdes hasta Santa Mónica, la zona transportadora de agua de Silverado varía de espesor de 100 a 500 pies, y queda abierta al océano aproximadamente durante 15 millas. No hay barreras de fracturas a 3 millas del océano en la zona transportadora de agua de Silverado, y tampoco hay ninguna en los materiales recientes.

Para 1951 el agua salada había invadido aproximadamente una línea de 17 millas a lo largo de las costas oeste y sur de la cuenca, que llega a 1.5 ó 2 millas tierra adentro, avanzando a través del extremo sur de los acuíferos abiertos hacia el mar. El gradiente hidráulico hacia la tierra se extendía hasta 6 millas tierra adentro en 1950, y desde 1952 se han aplicado medidas correctivas en Manhattan Beach, mediante la inyección de agua dulce en una línea de pozos de recarga que tiene aproximadamente una milla de longitud, para elevar la meseta de agua sobre el nivel del mar y crear así una "represa de agua dulce". Se hicieron planes para utilizar los desperdicios tratados de los albañales, para recargar el acuífero y conservar la represa de agua dulce. Además, se están adjudicando derechos de agua y disminuyendo la cantidad de bombeo.

Colorado. Thad G. McLaughlin, Denver: Se sospecha que los desechos salados industriales que escapan de las fugas de los estanques de evaporación próximos a Derby y Adams City, al nordeste de Denver, están causando invasiones de aguas saladas del acuífero, que han dado por resultado la destrucción de las cosechas por el agua de riego que se bombea.

Connecticut. Robert V. Cushman, Middletown: Han ocurrido invasiones de agua salada principalmente entre New Haven y Bridgeport como resultado del bombeo de pozos. El agua salada se mueve lateralmente de las fuentes de agua superficial (indirectamente del estuario de Long Island), o se eleva del fondo de los acuíferos. A veces ambas fuentes

pueden contribuir a las invasiones. Unas cuantas plantas industriales han tenido que abandonar sus pozos, y algunas otras han resuelto el problema disminuyendo el bombeo, economizando en la utilización del agua por medio de la recirculación, o espaciando los pozos a distancias mayores para evitar el abatimiento excesivo de la meseta de agua.

Delaware. William C. Rasmussen, Newark: Han ocurrido invasiones de agua salada en cuatro localidades, otra se encuentra amenazada y causan preocupación en dos más. La invasión más seria hasta la fecha ocurrió en Lewis en 1943. Hubo excesivas demandas de agua causadas por la rápida expansión de los establecimientos militares en la localidad, y la meseta de agua se abatió considerablemente. Simultáneamente, el canal Lewis-Rehoboth, que lleva agua salada, se dragó en la vecindad, y el agua salada del mismo invadió rápidamente el campo de pozos de Lewis, que tuvo que abandonarse. Se desarrolló un nuevo campo de pozos a una distancia segura del Canal. El campo antiguo tendrá que limpiarse de agua salada y probablemente puede usarse de nuevo en forma limitada. Preocupa la posibilidad de invasiones de agua salada que puedan resultar del proyectado ensanchamiento, ahondamiento y rectificación del canal de Chesapeake y Delaware.

South Florida. Nevin D. Hoy, Miami: Los problemas de invasión de aguas saladas son muy graves en varios sitios. Los acuíferos actuales o potenciales que se encuentran amenazados son los siguientes: El acuífero Biscayne en los condados de Dade y Broward; los acuíferos poco profundos (menos de 100 pies) del área del lago Okeechobee-Everglades y partes adyacentes del condado de Hendy; los acuíferos poco profundos (menos de 300 pies) en las zonas costeras de los condados de Martin, St. Lucie e Indian River, y el acuífero de Florida, que es el principal acuífero artesiano del estado. Este último se encuentra ligeramente mineralizado en la parte sur de Florida, siendo mayor la salinidad hacia el Sur en la profundidad del acuífero. Algunas ciudades, como Fort Myers, Fort Pierce y Fort Lauderdale, han sufrido daños con las inundaciones de agua salada. Fort Myers tuvo que abandonar su campo de pozos en 1945, desarrollando un nuevo campo que está a salvo de invasiones. El campo de pozos de Fort Pierce se ha usado escasamente desde que se encontraron invasiones de agua salada en los pozos cercanos a Indian River (una laguna salada), poco después de que se desarrolló el campo de pozos después de la Segunda Guerra Mundial. El campo de pozos de Fort Lauderdale ha quedado amenazado por las invasiones laterales de agua salada procedentes de New River y por las invasiones verticales de las aguas saladas residuales en la profundidad del acuífero.

Algunas otras municipalidades pequeñas han sufrido daños semejantes o están en peligro de invasiones potenciales.

Northern Florida. Ralph G. Heath, Tallahassee: Las siguientes áreas han quedado afectadas por las invasiones de agua salada: Pensacola, Panama City, todo el condado de Pinellas, a excepción de las partes central y del Nordeste, Ruskin, Tampa y Daytona Beach. Las invasiones ocurren principalmente en el acuífero de Florida, y con excepción del condado de Pinellas sólo parecen deberse al exceso de desarrollo de los suministros locales. En el condado de Pinellas, aparte del exceso de desarrollo de los suministros, puede haber ocurrido un exceso de desagüe por medio de canales, que ha producido una invasión semejante a la ocurrida en Miami. En St. Petersburg se ha abandonado el antiguo campo de pozos, y se ha desarrollado uno nuevo a una distancia conveniente tierra adentro de las aguas del Golfo de México.

Hawaii. Dan A. Davis, Honolulu: El agua del suelo ocurre de acuerdo con el principio de Ghyben-Herzberg y hay un lente flotante de agua dulce rodeado por el agua del mar. Durante los 50 ó 60 años desde que se inició el desarrollo de agua del suelo en Oahu, ha disminuido considerablemente la parte del lente que se encuentra sobre el nivel del mar, y su superficie (meseta de agua) ha bajado aproximadamente de 40 pies sobre el nivel del mar hasta 25 ó 30 pies. Como

resultado de ese cambio de altura del agua dulce sobre el nivel del mar, ha ocurrido una elevación de la línea de contacto entre el agua salada y la dulce y el lente se ha encogido. A esto ha seguido la invasión del agua salada; pero ésta constituye un proceso lento en el área de Honolulu, y aunque bastante acentuada, no ha llegado a ser grave. Se han observado invasiones en otras partes de la isla, tales como el área de Lahaina en Maui occidental y en Paia, en el istmo de Maui.

Hay tendencia a abandonar los pozos perforados substituyéndolos con "túneles de suministro superficial". Estos túneles se excavan bajo la meseta de agua, a fin de recolectar la porción superior del agua dulce en áreas relativamente grandes que contrastan con el área bastante limitada de donde se abastece un pozo, evitando así los abatimientos profundos con la consiguiente elevación del agua salada desde abajo. Tanto en Oahu como en Maui se está probando la recarga artificial y se están haciendo intentos para desviar el exceso de aguas superficiales (desbordamiento de inundación) a depósitos que tienen filtraciones, con la esperanza de que el agua se mueva hacia abajo dentro de los acuíferos.

Indiana. Claude M. Roberts, Indianapolis: En Indiana han ocurrido invasiones de aguas saladas en varias localidades en los campos petrolíferos o a proximidad de ellos. Se ha dispuesto de las salmueras de los pozos petrolíferos por medio de cuencas de evaporación que gotean, o vaciándolas en las corrientes superficiales, y las invasiones se han propagado a los acuíferos de agua dulce. Algunos pozos que gotean, y otros que se han abandonado sin taparse, actúan como fuentes locales de contaminación. Se han notado invasiones, generalmente locales, en los condados de Miami, Vigo, Clay, Sullivan, Knox, Daviess, Pike, Gibson y Posey. Se han iniciado proyectos locales y estatales para disminuir las invasiones del agua salada, que incluyen procedimientos correctivos tales como el abandono de las cuencas de evaporación, substituyéndolas por la reinyección de las salmueras en las formaciones petrolíferas, la recarga artificial del agua del suelo y el abandono y sellado de los pozos petrolíferos agotados.

Iowa. Eugene H. Walker, Iowa City: Las invasiones de agua salada no son problema importante en Iowa. Uno de los acuíferos principales comprende la piedra arenisca de St. Peter, la formación de Prairie du Chien y la piedra arenisca de Sandstone. Contiene agua dulce utilizable y se explota ampliamente por medio de pozos municipales, industriales y privados. En varios casos, los pozos mal constituidos, como ha sucedido en Altoona, North English y McGregor, han penetrado en las aguas saladas bajo el acuífero de agua dulce, actuando como conductos para llevar el agua salada a los acuíferos de agua dulce. Se ha encontrado el remedio sellando cuidadosamente las uniones defectuosas en la tubería de revestimiento de los pozos una vez que las filtraciones se han localizado empleando métodos de explotación de pozos.

Kansas. V. C. Fishel, Lawrence: El agua salada ocurre en profundidad en todo el estado de Kansas, y la instrusión de ésta en los arroyos y su invasión de los acuíferos de agua dulce son problemas graves. Las fuentes principales de sal son: los manantiales y pantanos salados, los desechos industriales y las salmueras de los campos petrolíferos.

Parece que los pantanos salados a lo largo del arroyo Rattlesnake son la fuente de la sal que convierte el río Arkansas de dulce en salado, abajo de Sterling y Hutchinson. Los desechos industriales constituyen un grave problema en las ciudades donde se extrae y refina la sal, como ocurre en Hutchinson y Lyons. Han ocurrido algunas invasiones de las salmueras de los campos petrolíferos en casi todos los principales campos petrolíferos del estado. Sin embargo, debido en gran parte a los esfuerzos de la Junta de Salubridad del Estado de Kansas, se han hecho grandes progresos para disminuir la invasión de aguas saladas causada por las salmueras de los campos petrolíferos, mediante el desarrollo de mejores métodos de disposición y control de las mismas. Como ocurre en casi todos los demás estados productores de petróleo, las llamadas "cuencas de eva-

poración" han sido la causa principal de contaminación. Se está devolviendo la mayor parte de esas salmueras a las formaciones subsuperficiales profundas, por medio de pozos de desecho.

Kentucky. M. I. Rorabaugh, Louisville: El agua salada se encuentra en las profundidades en todo el estado de Kentucky, con excepción en la Zona de Compra Jackson. La invasión del agua salada de los acuíferos superficiales de agua dulce ocurre probablemente en algunos sitios a través de las perforaciones de prueba para petróleo y gas que han sido abandonadas, especialmente en los campos carboníferos orientales y occidentales. Hay evidencia que sugiere invasiones de agua salada cerca de Paintsville y Prestonville, aunque no hay pruebas concluyentes.

Louisiana. A. N. Turcan, Jr., Baton Rouge: Las invasiones de agua salada se han vuelto muy graves en varios sitios. Uno de los más importantes se encuentra cerca de Milton, en donde el agua salada ha invadido el acuífero principal de agua dulce (llamado depósito Chicot) desde el río Vermilion, haciendo peligrar los suministros de agua de parte del sudoeste de Louisiana. Otros sitios en donde han ocurrido invasiones serias son Baton Rouge, New Orleans, Norco y la proximidad de los grandes domos de sal, como ocurre en Porte Barre y Chase.

Maryland. E. G. Otton, Baltimore: En Maryland existen tres áreas principales de invasión de aguas saladas: El área industrial de Baltimore; el Centro Químico del Ejército en el condado de Harford y el área de Crisfield-Westover en el condado de Somerset.

En el área industrial de Baltimore las aguas saladas han invadido los tres acuíferos principales a través de los revestimientos defectuosos de pozos y de los pozos abandonados y a lo largo de los salientes de los acuíferos bajo la bahía de Chesapeake, estando invadida una área de 6 a 8 millas cuadradas. Hay, por lo menos, dos métodos prácticos para controlar las invasiones, la reparación y sellado de los pozos abandonados o con goteras, y el "bombeo protector" de los desechos salados que invaden la bahía de Chesapeake, desviándolos o removiéndolos de los acuíferos.

Michigan. John G. Ferris, Lansing: Las perforaciones de prueba que se han dejado sin sellar y los pozos de agua salada han agravado los problemas de invasión de aguas saladas en Michigan, al proporcionar avenidas localizadas de permeabilidad vertical esencialmente infinita al escape de las aguas mineralizadas profundas. Esas aguas se encuentran abajo de una gran parte de la cuenca de Michigan y ocurren como salmueras en todas sus partes más profundas. Esas salmueras son las fuentes de suministro que han hecho de Michigan uno de los principales estados productores de sal durante muchos años.

El intenso desarrollo local en gran número de sitios, especialmente en Grand Rapids, Pontiac, Royal Oak, Flint, Kalamazoo, Lansing y Holland, ha inducido la migración hacia arriba de las aguas saladas. En algunos casos las aguas saladas invasoras han tenido altos contenidos de cloruros o sulfatos, y han ocurrido invasiones menores en la proximidad de los manantiales salados.

Minnesota. Robert Schneider, St. Paul: El problema tiene escasa significación, excepto en los condados de Kittson, Marshall y Polk, en donde las aguas innatas profundas han invadido en proporciones desconocidas los acuíferos superiores de agua dulce, principalmente a través de los pozos sin sellar o que gotean, que penetran hasta el agua salada. El remedio consiste en tapar o reparar los pozos.

Mississippi. Joe W. Lang, Jackson: Las inundaciones de agua salada en Mississippi se derivan principalmente de las salmueras de los campos petrolíferos, y del Golfo de México. El problema de las salmueras de los campos petrolíferos no consiste en las cuencas o vaciado en las corrientes superficiales, ya que casi en todas partes se inyectan las salmueras en el subsuelo, sino que consiste en la inyección de salmueras en los acuíferos profundos de agua dulce. Los campos petrolíferos especialmente afectados se encuentran en el condado de Adams, y en Helderberg, Tinsley, Brookhaven, Mallalieu, Banterville y Soso.

A lo largo de la costa del Golfo el agua de mar tiene acceso a los acuíferos de agua dulce en áreas de excesivo bombeo, como ocurre en Pascagoula y Biloxi, y en donde las corrientes de marea, en tiempo de sequía, llevan el agua salada hasta 18 ó 20 millas tierra adentro. El río Pascagoula es un ejemplo de esto. Hay peligro de invasiones en los acuíferos artesianos costeros en donde ordinariamente se desperdician los flujos artesianos, disminuyendo la presión y destruyendo el equilibrio largo tiempo existente entre el agua dulce y la salada, que en el pasado ha sido suficiente para tener el agua salada bajo control y evitar su migración tierra adentro.

Nebraska. Charles F. Keech, Lincoln: A excepción de Lincoln y sus alrededores, las invasiones de agua salada no constituyen problema serio en Nebraska. Muchos pozos de suministro en Lincoln, incluyendo los del antiguo sistema municipal, penetran a la piedra caliza de Dakota, que en su parte inferior lleva agua salada. En años recientes ha habido grandes invasiones de agua salada que han hecho que se abandonen muchos pozos. La ciudad de Lincoln ha desarrollado un nuevo suministro de un acuífero poco profundo cerca de Ashland, en el valle del río Platte.

New Hampshire. Edward J. Bradley, Durham: Han ocurrido invasiones de agua salada en pequeña escala a lo largo de las costas oceánicas y en la extensión de las corrientes de las mareas, tales como el río Piscataqua. Se han usado durante años muchos pozos que ahora están salados; pero la reciente instalación en ellos de bombas con motores eléctricos, ha causado un mayor abatimiento que en años anteriores y se han puesto en servicio muchos pozos nuevos. Los mayores abatimientos resultantes han destruido el equilibrio de Ghyben-Herzberg, lo que ha hecho que la sal emigre tierra adentro.

New Jersey. Sol M. Lang, Trenton: La invasión de aguas saladas es un factor potencial en los suministros de agua de New Jersey. En Newark, el agua salada del río Passaic y de la bahía de Newark se ha absorbido en los acuíferos de agua dulce debido al bombeo excesivo; pero indudablemente el dragado de los canales de navegación en el río Passaic, que contiene agua salada, ha contribuido grandemente, interrumpiendo y removiendo los sedimentos relativamente impermeables del lecho del río y estableciendo así una buena conexión hidráulica entre el río y el acuífero que se encuentra abajo de él.

Muchos otros sitios en New Jersey han sufrido daños por las invasiones de agua salada, especialmente el área de la bahía de Raritan en los alrededores de South Amboy, el área de Atlantic City, Cape May y los sitios industriales a lo largo del río Delaware en los condados occidentales de Salem y Gloucester. Es probable que ocurran problemas de invasión de aguas saladas en cualquier punto a lo largo de los límites costeros de New Jersey, desde Trenton hasta Cape May, y al Norte, hasta Newark.

New Mexico. Clyde S. Conover, Albuquerque: Las tres áreas que causan preocupación son las que se encuentran al este de Roswell, al sur del condado de Lea y el área de Malaga Bend en el río Pecos.

El área al este de Roswell tiene en su interior mantos evaporables de piedra caliza, yeso, cloruro de calcio anhidro y sal de roca que contamina el agua del suelo que fluye en contacto con ellos. Los excesos de bombeo para riegos han cambiado los gradientes del agua del suelo en el área, induciendo un flujo de agua mineralizada en el agua de riego, ocurriendo a mayores profundidades el agua más mineralizada en el acuífero. Basándose en una investigación incompleta que se está llevando a cabo, se cree que hay una profundidad máxima posible en la que todavía puede obtenerse agua en gran parte de esa área. El cuidado al perforar pozos para evitar que penetren a las aguas excesivamente saladas, el sellado de todos los pozos que contengan aguas saladas y la disminución del bombeo en el área, contribuirán indudablemente a aumentar la duración de los riegos en esa región.

La parte sur del condado de Lea es una área en la que las invasiones se derivan de la disposición de las salmueras

de los campos petrolíferos. El problema de aguas sumamente saladas en el río Pecos, que aumentan grandemente su contenido de sal y disminuyen su valor para todos los usurarios que se encuentran corriente abajo. Un estudio llevado a cabo por William E. Hale y otros de la Inspección Geológica, hace notar la posibilidad de remover las salmueras bombeándolas de los pozos a la cuenca de un lago seco para que se evaporen. Si se tiene éxito, esto eliminaría un promedio de 400 toneladas diarias de sal en el río Pecos, corriente abajo de los manantiales.

New York. Joseph E. Upson, Mineola: En todas las áreas donde hay agua salada en New York, la única invasión comprobada ha ocurrido al oeste de Long Island, no existiendo o no habiendo podido apreciarse en otras partes del estado.

Los condados de Kings, Queens y Nassau han emprendido con bastante éxito una campaña a largo plazo contra el agua salada que se mueve tierra adentro de las profundidades del estuario de Long Island a los acuíferos de agua dulce, como resultado de la destrucción del equilibrio de Ghyben-Herzberg. Las leyes estatales promulgadas en 1933 y 1935, establecían las bases para reglamentar la perforación de pozos y la utilización de agua del suelo en Long Island. Entre otras cosas se requiere que el agua que se usa para fines de enfriamiento se devuelva directamente al acuífero, en vez de vaciarse en los albañales. Además, se han abandonado todos los pozos de suministro público en el condado de Queens, substituyéndolos con fuentes en la parte superior del estado o en otros sitios. El cumplimiento de los reglamentos relativos ha restaurado en gran parte la meseta de agua y detenido, o aun invertido, el movimiento del agua salada tierra adentro, sin que se hubiera podido apreciar hasta 1954 ninguna disminución en la salinidad del agua del suelo invadida.

Ohio. Stanley E. Norris, Columbus: La invasión de agua salada en Ohio se deriva totalmente de la disposición indebida que se hace de los desechos industriales.

Oklahoma. Stuart L. Schoff, Norman: Las invasiones de agua salada en Oklahoma se deben principalmente al agua superficial altamente mineralizada, a los manantiales de agua salada, a los pozos abandonadcs o que gotean que penetran al agua salada, y al manejo y disposición indebida de los desperdicios de albañales y salmueras de campos petrolíferos. No hay mucho que hacer en relación con la contaminación natural de las acuíferos de agua dulce, pero se necesita una aplicación más estricta de las leyes. La disposición de las salmueras de los campos petrolíferos de Oklahoma City en cuencas de evaporación, y las prácticas indebidas de disposición de los desechos de albañales en Oklahoma City, habían contaminado el agua del suelo en tal forma a lo largo del río North Canadian en 1938, que la ciudad de Shawnee, que se encuentra a 40 millas corriente abajo, tuvo que abandonar sus pozos municipales y desarrollar nuevos suministros. Las salmueras de las cuencas de evaporación de los campos petrolíferos invadieron el campo de pozos municipales de Cyril, en 1947, y las rápidas medidas tomadas por la ciudad hicieron que se abandonaran las cuencas como medio de disposición, obteniéndose de nuevo agua dulce en el campo de pozos.

Oregon. R. C. Newcomb, Portlan: Las invasiones de agua salada en Oregon han sido de escasa importancia. Hay dos áreas de contaminación en Salem, en donde la disposición de los desechos de alúmina amoniacal de una planta de aluminio ha causado invasiones locales de un acuífero de agua dulce y en algunas de las cuencas cerradas del sudeste de Oregon que tienen aguas saladas. Mediante un manejo cuidadoso, los agricultores que necesitan riegos pueden impedir que ocurran daños.

Rhode Island. William B. Allen, Providence: En Rhode Island hay invasiones en Providence y Warren, en donde se deben al bombeo que abate la meseta de agua bajo el nivel de las corrientes de marea vecinas que contienen agua salada del océano.

South Carolina. George E. Siple, Columbia: Las áreas de invasión más importantes se encuentran en partes de los condados costeros de Beaufort y Jasper, cerca del extremo sur del estado. El acuífero es

la piedra caliza de Ocala de la Epoca Eocena, una extensión hacia el norte de una de las zonas principales del acuífero de Florida. Existen otros sitios de invasión menos críticos en las áreas de Charleston y Georgetown.

South Dakota. Kenneth E. Vanlier, Huron: En áreas en las que hay suficiente carga artesiana, el agua salada de los pozos que penetran al río Fall y la piedra arenisca de Dakota han contaminado localmente los acuíferos del deslizamiento glacial. De los pozos que fluyen, el agua salada se filtra directamente a los deslizamientos glaciales o se vacía en los estanques donde se concentra por evaporación antes de filtrarse en el deslizamiento. Resultan también invasiones de los pozos mal construidos o con revestimientos corroídos y que gotean.

Texas. Allen G. Winslow, Austin: Las áreas de las principales invasiones de agua salada en Texas son los condados de Harris y Galveston; el área de Beaumont-Port Arthur, del condado de Jefferson; el distrito de Winter Garden, del sur de Texas, y el área de El Paso. En el condado de Harris la invasión ha sido una amenaza más bien que una realidad. En el condado de Galveston, las investigaciones han sido suficientes para obligar a disminuir el bombeo del área industrial de Texas City. En el área de Beaumont-Port Arthur han ocurrido invasiones tan extensas que se calcula que el bombeo ha disminuido a menos de un millón de galones diarios en una área donde anteriormente se utilizaban 20 millones de galones diarios.

La contaminación del distrito de Winter Garden ha ocurrido principalmente debido al goteo de los pozos que penetran a las tierras que llevan aguas saladas antes de llegar al acuífero principal. En el área de El Paso, las invasiones se deben principalmente a las tierras que llevan aguas saladas que quedan sobre los acuíferos de agua dulce; pero el agua salada ocurre también en la parte inferior del agua dulce. Los domos de sal en Texas, a diferencia de los de Louisiana, parecen no causar grandes invasiones de los acuíferos de agua dulce en los que penetran, siendo un problema mucho más serio la contaminación de las salmueras de los campos petrolíferos en el pasado y que actualmente están bastante bien controladas.

Utah. Herbert A. Waite y John H. Feth, Salt Lake City: La invasión de aguas saladas en Utah es de tres tipos principales: Invasión horizontal de un acuífero de agua dulce en proceso de explotación; invasión vertical de un acuífero a otro, de fracturas o por medio de pozos, e inducida por gradientes hidráulicos creados artificialmente, e invasión de la meseta de agua de los acuíferos poco profundos por las sales resultantes de la saturación causada por las aguas de riego.

Probablemente los problemas de invasión de la última categoría son más comunes en Utah, pero en algunas áreas existen los tres tipos. La invasión horizontal en los acuíferos de agua dulce que se están bombeando es muy común en el área de Salt Lake City-Ogden y en el distrito Bountiful. La invasión vertical a través de pozos mal construidos, con revestimientos que gotean o abandonados, es más grave en el valle del Lago Salado en Delta y Ogden, en el valle Cache, en Fillmore y en el área de Beryl-Enterprise. Se sabe que otras áreas están afectadas, aunque no tan gravemente. La saturación y la consiguiente invasión de aguas saladas han arruinado o dañado grandemente muchas áreas que en otros tiempos producían cosechas abundantes. Las áreas afectadas principalmente, son: el valle Cache, el valle del Lago Salado, el valle de Tooele, el valle de Utah y algunas áreas más pequeñas cerca de Delta, Vernal y Fillmore.

Virgina. Allen Allen Sinnott, Charlottesville: Los acuíferos afectados por la invasión de las aguas saladas se encuentran en la extensa área que rodea Hampton Road y en otras áreas limitadas de la planicie costera, especialmente en el condado de Spotsylvania. Los acuíferos afectados más profundos, contienen aguas saladas residuales de los mares post-Cretáceos más altos, principalmente Pleistocenos. Excepto en las áreas en donde la invasión se debe al bombeo, no puede hacerse gran cosa para remediar la situación. Las investigaciones efectuadas por J. D. Cederstrom, de la Inspección Geológica, en 1947, indican que pueden obtenerse bue-

nos resultados mediante la recarga artificial por medio de pozos de los acuíferos salados. Este investigador inyectó agua dulce superficial en un acuífero salado y pudo recuperar más tarde gran parte de ella.

West Virginia. Charles W. Carlston, Morgantown. La invasión de aguas saladas es un problema secundario en West Virginia. Hay áreas en la zona de aluvión, a lo largo del río Ohio, en donde ocurren invasiones de agua salada, principalmente entre Paden City y Waverley. En ese espacio se encuentran los campos petrolíferos de Sistersville, Bens Run, St. Marys, Belmont y Waverley, y las salmueras de ellos son la fuente de las aguas saladas invasoras.

Wisconsin. William J. Drescher, Madison: Las invasiones de agua salada son un problema secundario. Se sabe que hay aguas saladas en 5 áreas a lo largo de los linderos del estado; pero sólo se ha sabido que hayan ocurrido invasiones en una área en la zona oriental que incluye partes de los condados de Brown, Calumet, Door, Kewaunee, Manitowoc y Sheboygan. Los pozos más profundos en esta área producen aguas sumamente saladas, y en sitios en donde los pozos artesianos gotean o se deja que fluyan sin control, sus aguas saladas invaden los acuíferos poco profundos de aguas dulces.

POR TODO LO ANTERIOR se puede apreciar que las invasiones de agua salada constituyen un serio problema en muchas partes de los Estados Unidos de Norteamérica. Por fortuna, aun en aquellos estados que están seriamente amenazados, existen generalmente todavía abundantes suministros de agua del suelo y aguas superficiales que sólo necesitan un desarrollo y utilización inteligente para que cubran por largo tiempo las necesidades del hombre.

La invasión de las aguas saladas, tanto de las aguas de los océanos como de las aguas saladas residuales, es más grave en los estados costeros. En los estados del interior, las salmueras de los campos petrolíferos, los desechos industriales y la invasión de aguas saladas y alcalinas en las áreas de riego, constituyen los más serios problemas.

En sitios donde se conocen los factores que comprenden las invasiones de aguas saladas, generalmente las agencias estatales y locales pueden formular planes de operación para la utilización del agua de manera eficaz, continua y satisfactoria. Si debido a la ignorancia, a la apatía o al descuido, no se procura el manejo adecuado de este precioso recurso, las invasiones de agua salada pueden ser desastrosas.

GARALD G. PARKER *es miembro de la División de Recursos Hidráulicos de la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica y anteriormente fue geólogo de distrito en Miami, Florida.*

La contaminación, el incremento de un problema en una nación en desarrollo

Carl E. Schwob

EL AGUA EN ESTADO NATURAL nunca es 100% pura. A medida que cae la lluvia recoge impurezas de la atmósfera, y el contacto con las actividades del hombre aumenta la contaminación en varias formas, muchas de las cuales afectan la utilización que podemos hacer de ella.

Las formas principales de contaminación son los desechos domésticos (aguas negras), desechos industriales y sedimentos.

Las aguas negras incluyen todo lo que se arroja a los desagües de una ciudad, y que va a dar a su sistema de albañales. Las aguas usadas de los sanitarios, tinas de baño y resumideros de cocina, y las aguas de desecho de restaurantes, lavanderías, hospitales, hoteles, depósitos de cadáveres y muchas otras.

Los desechos industriales son los ácidos, substancias químicas, aceites, grasas y materias animales y vegetales que se descargan de las fábricas a veces en el sistema de albañales de una ciudad y otras direc-

tamente a las corrientes de agua por medio de salidas separadas.

El sedimento es la tierra que se arrastra a las corrientes, que enturbia las aguas y obstruye los depósitos.

Hasta los tiempos relativamente recientes, la disposición de los desechos, basuras y desperdicios humanos era una tarea heterogénea cuya responsabilidad se dejaba a cada unidad de habitación. Ordinariamente los desechos se vaciaban en los callejones, calles o zanjas para su destrucción eventual por el tiempo y los elementos. Los albañales existían desde los tiempos de Babilonia, pero se usaban principalmente para desaguar el exceso de las aguas superficiales más bien que para arrastrar los desechos. En el siglo XVII aparecen los primeros registros de albañales sanitarios, que ordinariamente eran corrientes naturales de agua o zanjas excavadas; pero la modernización y uso general de los albañales no ocurrió sino hasta casi 200 años más tarde.

En los años intermedios ocurrió la Revolución Industrial, las grandes concentraciones de población en las ciudades industriales, el desarrollo de la plomería interna y el uso general de los resumideros de aguas negras como depósitos para los desperdicios humanos. Las epidemias de enfermedades causadas por la contaminación de las aguas de los pozos, debida a la filtración de los primeros resumideros de aguas negras, dieron el ímpetu necesario, aproximadamente a mediados del siglo XIX, para la primera construcción sistemática de nuestros modernos sistemas de albañales.

Con la extensa adopción de los modernos sistemas de albañales que recogen los desperdicios de ciudades enteras y los descargan en unas cuantas salidas concentradas, ya no se acumulan los desperdicios humanos ni otras inmundicias en las calles, que harían sitios pestilentes de de nuestras ciudades; pero el problema sólo ha cambiado de sitio. Las muchas comunidades cuyos suministros de agua eran los lagos y corrientes, estaban todavía bajo la amenaza de que las aguas superficiales se contaminaran con los desperdicios a través de las salidas de los albañales. La ciencia proporcionó una solución con el desarrollo de procesos de purificación para remover las bacterias y otras substancias que contaminan el agua.

Los sistemas municipales de purificación de agua constituyen una protección notablemente eficaz contra los riesgos a la salud debidos a la contaminación de aguas en nuestros días; pero el crecimiento y concentración de la población y el aumento de volumen de la contaminación hacen más complicada y costosa la tarea de producir agua pura que sea aceptable para beber. Los peligros aumentan, ya que la más pequeña interrupción en el sistema de protección, debida a error humano o falla mecánica, puede ser desastrosa.

Aunque los peligros de las aguas que se descargan de los albañales municipales son muy graves, sólo son parte, y por lo que hace a su complejidad, sólo una muy pequeña parte, del problema total de contaminación a que se enfrenta en la actualidad nuestro país. El aumento de siete veces habido en la producción industrial desde 1900 ha arrojado enormes volúmenes de desechos a las corrientes, y los nuevos productos que nuestra avanzada tecnología está desarrollando en variedad infinita y asombrosa rapidez, han creado problemas complejos de contaminación del agua. Se desconocen todavía los posibles efectos de algunos de los desechos derivados de la producción e incremento en la utilización de las nuevas substancias químicas, y no estamos seguros de la eficacia de nuestros actuales procesos de tratamiento de agua para removerlos.

LA CONTAMINACIÓN AFECTA a la mayoría de los usuarios del agua. Todos creemos que el agua para beber y para usos domésticos tiene la prioridad más elevada, y que esos usos deben protegerse contra los efectos de la contaminación.

El agua es la materia prima principal en nuestras fábricas. Gran parte de ella se obtiene de los ríos y lagos, y debe ser relativamente pura para que pueda utilizarse en muchos procedimientos industriales. Las industrias de productos sintéticos y de substancias químicas que han crecido tan rápidamente, requieren enormes cantidades de agua pura. La sola

industria del acero utiliza 13 billones de galones diarios, y se necesitan 365,000 galones para producir una tonelada de fibra de rayón, aproximadamente medio millón de galones para producir 1,000 yardas de tela de lana, y más de un millón de galones para producir 1,000 barriles de gasolina de aviación. Los costos de producción aumentan si hay necesidad de tratar el agua antes de usarla, y, por lo tanto, la disponibilidad de agua de buena calidad es asunto importante en la localización de nuevas plantas industriales. La falta de ella desalienta la creación de nuevas industrias, así como la expansión de las plantas ya existentes, y afecta adversamente la economía general de la región.

Las cosechas que se riegan con agua contaminada por las aguas negras pueden transmitir enfermedades. Las aguas contaminadas con desechos industriales, tales como los de substancias químicas, pueden dañar las cosechas que se rieguen con ellas, y el aumento en la utilización de riegos suplementarios en el Oeste han traído problemas relacionados con la calidad del agua. Muchas corrientes naturales, que antes se utilizaban para abrevar el ganado, han quedado tan contaminadas que es peligroso continuar usándolas.

Las especies deseables de peces no medran en aguas sumamente contaminadas. Los sábalos casi han desaparecido de algunos de los ríos del Este, y en un valle del Oeste la pesca anual de salmón, que antes se valoraba en 5 millones de dólares, bajó desde hace unos años aproximadamente a un millón de dólares. Un intenso programa de disminución de la contaminación en esa área está mejorando la situación de las corrientes y los salmones están volviendo. Se han clausurado grandes superficies de aguas productoras de mariscos, debido a los peligros de la contaminación.

Las áreas recreativas abiertas sufren los efectos de los daños causados por la contaminación. Se han clausurado playas, impidiendo en ellas la natación debido a los riesgos para la salud. La navegación en botes no sólo pierde su atractivo estético cuando las aguas están cargadas de desperdicios, sino que se vuelve realmente peligrosa. Se acaba con los placeres de los paseos y acampados a las orillas de las corrientes, la pesca deportiva produce menos goces y menos peces, y las industrias recreativas, que constituyen una importante fuente de entradas en muchos estados, sufren pérdidas económicas considerables.

La contaminación es susceptible de controlarse, ya que no es algo que tenga que tolerarse como consecuencia inevitable de nuestro crecimiento urbano e industrial. Las soluciones disponibles en la actualidad evitarán muchos de sus daños, quedando aún algunos problemas difíciles que, sin embargo, pueden resolverse.

Tenemos muchos ejemplos de los éxitos dramáticos que pueden alcanzarnos con los métodos para el control de la contaminación que conocemos actualmente.

En unos cuantos años, el programa de corrientes de agua limpia de Pennsylvania ha devuelto al río Schuylkill una semblanza de lo que era antes de que ocurriera la grave contaminación industrial; los peces deportivos están multiplicándose en los estanques que se encuentran corriente arriba; la natación y la navegación en bote han reconquistado su popularidad como deportes fluviales, y ha aumentado el valor de las tierras ribereñas. Otras corrientes de Pennsylvania están mostrando mejoras semejantes.

Un programa en gran escala que abarca toda la extensión de las cuencas, iniciado hace varios años en Kansas, ha disminuido considerablemente la grave contaminación bacteriana que amenazaba los suministros de agua de las comunidades que se encuentran a lo largo del río Kansas.

Los ocho estados de la cuenca del río Ohio, trabajando conjuntamente entre ellos, así como con las ciudades e industrias de esa área, ha podido invertir en sólo 5 años las tendencias de la contaminación de medio siglo. Se ha impedido la contaminación de nuevas corrientes y se está disminuyendo la ya existente mediante un programa destinado a proteger la salud y bienestar económico de una de las más importantes áreas industriales del país.

Otro programa cooperativo interestatal está restaurando las aguas del río Delaware, para obtener de ellas su aprovechamiento máximo. La meta consistía en la eliminación para el año de 1955 de todas aquellas descargas que produjeran contaminaciones y que no llenaran los requisitos establecidos.

Para fines de la década de 1930, el río Willamette, de Oregon, que se había descuidado durante muchos años, se había convertido en algunos trechos en una zanja abierta llena de aguas negras. La legislación aprobada en 1939 autorizó un programa de limpieza, y como resultado, el agua puede utilizarse actualmente para fines industriales y domésticos, para la propagación del salmón y para la mayoría de los fines recreativos.

MEDIANTE PROCESOS NATURALES, el agua puede purificarse hasta cierto punto; pero hay un límite a la carga de contaminación que puede manejar una corriente. El complicado proceso de la autopurificación es consecuencia de una combinación de factores físicos, químicos y biológicos. El proceso es el mismo en todas las extensiones de agua, pero su tensidad queda regulada por las diferentes condiciones del medio.

El tiempo requerido para la autopurificación depende del grado de contaminación y de las carecterísticas de la corriente. En una corriente abundante pueden necesitarse muchos días de flujo para que ocurra una purificación parcial. En corrientes de flujo limpio, ordinariamente el agua se encuentra saturada de oxígeno disuelto absorbido de la atmósfera y liberado por las plantas acuáticas verdes. Las materias sólidas de las aguas negras y otros desechos, se dispersan al penetrar a la corriente y eventualmente se depositan en el fondo, y las bacterias del agua y de los desechos mismos inician el proceso de descomposición de los desperdicios inestables. Este proceso utiliza el oxígeno disuelto en el agua, del cual dependen los peces y otras clases de vida acuática.

Las corrientes compensan la disminución de oxígeno disuelto, absorbiéndolo del aire y de las plantas acuáticas que lo producen. Esta reposición permite que las bacterias continúen trabajando en los desperdicios y que continúe el proceso de purificación. La reposición ocurre rápidamente en una corriente turbulenta que fluya velozmente, porque el oleaje proporciona mayores áreas superficiales a través de las cuales puede absorberse el oxígeno. Los estanques relativamente inmóviles y las corrientes profundas y lentas requieren mucho mayor tiempo para renovar el oxígeno agotado.

Cuando se descargan grandes volúmenes de desechos en una corriente, el agua se enturbia y la luz del sol no puede penetrar a las plantas acuáticas que contribuyen normalmente al suministro de oxígeno mediante la fotosíntesis, y éstas mueren. Si el volumen de contaminación, en relación con la cantidad de agua de la corriente y la velocidad de flujo, es tan grande que las bacterias utilizan el oxígeno más rápidamente que ocurre la renovación del aire, sólo pueden sobrevivir los tipos de bacterias que causan la putrefacción, lo que retarda el proceso natural de autopurificación y da a la corriente mal olor y aspecto grasoso, haciendo que desaparezcan los peces y otras clases de vida acuática.

Esas condiciones evidencian la necesidad de medidas de control de la contaminación que disminuyan el volumen de las descargas de desechos en las vías de agua a una cantidad que quede dentro de la capacidad de autopurificación de las corrientes.

La determinación de las cantidades adecuadas comprende varios factores que pueden variar en diferentes corrientes y aun en diversos trayectos de una misma corriente, tales como el flujo de la corriente, características químicas, temperatura, requisitos de calidad de los usos del agua corriente abajo, tiempo y distancia entre los puntos de descarga, puntos subsecuentes de utilización y otros.

El tratamiento de las negras causa la disminución requerida en los efectos de la contaminación de los desechos de albañales antes de que se descarguen en las corrientes de agua. Tratándose de desechos industriales, se utiliza una combinación de tratamientos, cambios en los pro-

cedimientos de planta y recuperación de materiales para usarse nuevamente.

Hay varios grados de tratamiento de las aguas negras. En el tratamiento primario, que remueve aproximadamente el 35% de la carga de contaminación de las aguas negras, éstas pasan primero a través de unas cribas que retienen los objetos de tamaño mayor, tales como trozos de madera y trapos. En seguida el agua fluye lentamente a través de una cámara de sedimentos que permite que la arena, grava y otros objetos pesados se depositen en el fondo. El agua fluye después a un gran tanque de asentamiento en donde permanece durante una hora o más. Los sólidos contenidos en las materias de desecho caen al fondo como cieno o se elevan a la superficie como impurezas, y entonces se desagua el agua que se encuentra entre esas dos capas. Si sólo es indispensable el tratamiento primario, el agua se clorina para matar las bacterias que se encuentren en ella y se descarga en la corriente, y el cieno se lleva a un tanque de digestión o cama de secado en donde se vuelve inofensivo, pudiendo usarse entonces como fertilizante, acondicionador de tierras, como relleno, o puede quemarse.

Si se necesita una considerable reducción de los materiales que causan la contaminación, el agua de desecho del tanque de asentamiento primario se rocía en una capa de piedras gruesas que tiene un espesor aproximado de 6 pies. A medida que el líquido escurre a través de ella, las bacterias y crecimientos biológicos que cubren las piedras recogen los materiales disueltos y en suspensión y remueven de ellos el alimento que necesitan, transformando así esos materiales disueltos y en suspensión en otros más elementales, muchos de los cuales pueden removerse por asentamiento. En algunos sitios se usa el procedimiento de cienos activados en vez del filtro de escurrimiento, que depende también de la acción bacteriana. Como precaución adicional puede clorinarse la descarga de la planta de tratamiento, a fin de destruir las bacterias que causan enfermedades. Mediante la intensificación de todos estos procesos secundarios de tratamiento, pueden obtenerse diversos grados de disminución de la contaminación, hasta llegar prácticamente al 100% de pureza.

La determinación del grado de tratamiento requerido antes de que se descarguen las aguas negras en las corrientes, o los desechos orgánicos, es un problema técnico y complejo. Si fuera posible normalizar los requerimientos de tratamiento a su nivel más elevado, o sea la remoción total de todos los desechos perjudiciales, podría evitarse esa complejidad; pero el aspecto económico de la situación impide esa sencilla solución. Mientras más elevado sea el grado de tratamiento, éste se hace más costoso. Por ejemplo, las facilidades de tratamiento necesarias para obtener una disminución de 35% en los efectos de contaminación de las aguas negras (tratamiento primario), tienen un costo aproximado de 35 dólares por habitante; las necesarias para obtener una disminución de 75% tienen un costo aproximado de 70 dólares por cabeza, y las que se necesitan para obtener una disminución de 90%, aproximadamente 110 dólares por cabeza. Por lo tanto, la diferencia de 40 dólares del 15% adicional de disminución entre el 75% y el 90%, es mayor que el costo de la disminución inicial de 35%. Esos cálculos, naturalmente, son promedios generales, y los costos reales en cada comunidad individual dependen de muchos factores y pueden variar grandemente.

Por lo tanto, al establecer requisitos de tratamiento debe tenerse en cuenta el punto de vista económico, así como otras consideraciones, tales como normas de calidad requeridas por los usurarios del agua corriente abajo, el grado de reducción de la contaminación que se obtenga por medio de los procesos naturales de purificación de las corrientes y los requisitos especiales inherentes a las leyes sobre derechos de agua de la región.

A FINES DEL SIGLO XIX se iniciaron en nuestro país las investigaciones sobre las relaciones existentes entre la salubridad y la contaminación.

Los trabajos de Pasteur, Koch y Lister habían establecido ya que ciertos tipos

de enfermedades, tales como la fiebra tifoidea y el cólera, se transmitían en las aguas contaminadas, y esos conocimientos constituyeron la base para el desarrollo de métodos para la remoción de las bacterias perjudiciales de las aguas negras antes de que se descargaran en las corrientes de agua.

Los primeros trabajos se llevaron a cabo por la Estación Experimental de Lawrence, del Departamento de Salubridad del Estado de Massachusetts, establecida en 1886. El Departamento de Salubridad Pública emprendió estudios de campo aproximadamente en 1910, en las ciudades de la región de los Grandes Lagos, para determinar la relación existente entre los suministros de agua para beber contaminados por las aguas negras con la frecuencia de la fiebre tifoidea y otras enfermedades transmitidas en el agua. Se llevaron a cabo otras investigaciones iniciales en las aguas internacionales entre los Estados Unidos de Norteamérica y el Canadá, el río Potomac (con especial relación a la contaminación de los mariscos), el río Missouri y los ríos Illinois, Scioto y Ohio, dando atención especial al incremento de los conocimientos sobre los fenómenos de purificación natural. En 1938, en colaboración con el Cuerpo de Ingenieros, se inició la primera investigación en gran escala para el desarrollo de un plan general de control de contaminación, así como un programa para una de las principales cuencas fluviales (la del río Ohio).

La Ley Federal para el Control de la Contaminación de las Aguas, promulgada en 1948, facilitó el extenso desarrollo de planes nacionales completos para el control de la contaminación. El desarrollo de esos programas de acción comprende una combinación de datos sobre fuentes de contaminación, cantidades y características; convenios sobre utilización de las aguas; establecimiento de normas de calidad para los usos deseados, y finalmente, la determinación de los requerimientos de tratamiento para conservar la calidad necesaria para esos usos.

Al terminar la fase inicial de recolección de datos para el programa federal y estatal en 1950, se descubrieron 22,200 fuentes de contaminación, 11,800 sistemas municipales de albañales y 10,400 salidas independientes de desechos de fábricas.

De los 92 millones de habitantes a que daban servicio los sistemas de albañales, sólo 54.5 millones contaban también con tratamientos de aguas negras (6,700 plantas). De las 10,400 industrias que tenían salidas de desechos separadas de los sistemas municipales de albañales aproximadamente 2,600 tenían tratamientos para los mismos, 3,700 no contaban con plantas de tratamiento y no llegaron a precisarse las facilidades con que contaban las 4.100 restantes. A pesar de la disminución de la contaminación efectuada por las 9,300 plantas de tratamiento, se descargaban todavía desperdicios orgánicos de albañales en los ríos y lagos sin tratamiento alguno o con tratamientos inadecuados equivalentes a los de 150 millones de habitantes.

Más de 2,000 industrias descargaban sus desechos inorgánicos, tales como substancias químicas venenosas que no pueden medirse a base de un equivalente de población, y aproximadamente en otras 3,000 industrias más no se había determinado el tipo de desecho, ya fuera orgánico o inorgánico. Finalmente, el desagüe de las minas de carbón abandonadas contribuia aproximadamente con 10,000 toneladas diarias de contaminación ácida a las vías de agua.

Basándose en esos datos preliminares, se calculó que se necesitaban nuevas plantas de tratamiento de aguas negras, ampliaciones adicionales importantes o reposición de las plantas ya existentes en 6,600 localidades. Se calculó el costo total de los proyectos que eran necesarios aproximadamente en 2.5 billones de dólares, y además se calculó que las nuevas necesidades anuales derivadas de los aumentos de población, de la tendencia a la urbanización y del importante factor del añejamiento de las plantas, requerirían desembolsos para construcción aproximadamente de 200 millones de dólares.

Por lo tanto, a fin de llenar las necesidades actuales y eliminar los retrasos, se necesitarían desembolsos municipales en una proporción que variaba de 450 millones a 500 millones de dólares anuales

durante un periodo de 10 años. Esta proporción es mucho mayor que la alcanzada en construcciones de este tipo, aun durante el periodo de mayor actividad de los fines de la década de 1930, cuando el programa de obras públicas de la nación estimuló grandemente las actividades de construcción para solucionar los problemas causados por las aguas negras.

En 1950 se calculó que se necesitarían 3,500 proyectos para tratar los desechos industriales, que eran de magnitud igual o ligeramente mayor que las obras municipales atrasadas. Se esperaba también que el desarrollo de las necesidades corrientes en aquel entonces, debido a la expansión industrial, requeriría desembolsos anuales tan fuertes, por lo menos, como los que se calculaban para obras municipales nuevas.

Como los desembolsos para las obras de disminución de la contaminación industrial no pueden separarse fácilmente de las cifras totales de construcción industrial, no hay disponibles datos completos sobre la proporción de progreso en el control de esta clase de contaminación. Los informes esparcidos e incompletos indican que principalmente las industrias mayores están haciendo desembolsos considerables para la construcción de plantas de tratamiento de desecho y que están adoptando otras medidas de control. Por ejemplo, las industrias que se encuentran en Houston, Texas y en sus alrededores, han invertido aproximadamente 7 millones de dólares en medidas de control de la contaminación de las aguas durante los últimos años. Aproximadamente una tercera parte de las industrias cercanas al río Niágara gastaron más de 7 millones de dólares para la aplicación de medidas semejantes entre 1950 y 1954, y la Asociación de Fabricantes de Substancias Químicas informó que tan solo la industria química estaba invirtiendo aproximadamente 40 millones de dólares al año para investigar la contaminación del aire y de las aguas y encontrar medidas correctivas. El representante de un gran fabricante de automóviles manifestó que su firma gastó 32 millones de dólares en un periodo de tiempo no especificado en investigaciones semejantes y medidas para la disminución de la contaminación.

Sin embargo, la evidencia suministrada por las condiciones de contaminación mucho peores que existen en muchas áreas demuestra que la construcción de plantas de tratamiento para desechos industriales se está quedando atrás de las necesidades.

Las leyes de aguas de los diferentes estados varían grandemente, pero las disposiciones legales adoptadas de acuerdo con ellas apoyan constantemente el derecho de los propietarios ribereños para que se les proteja contra la contaminación. En áreas que están regidas por las doctrinas de la ley común, cada propietario ribereño tiene derecho a que no se disminuya la calidad ni la cantidad de la corriente de agua que fluye a lo largo de sus propiedades. En aquellos estados en los que está en vigor la doctrina del uso razonable, no puede interferirse con el uso razonable que un propietario ribereño haga de la corriente. En las áreas occidentales regidas por la doctrina de apropiación previa, se reconoce la regla ya aceptada de que la adquisición de agua para usos benéficos mediante apropiación previa, da también derecho a la protección necesaria.

La responsabilidad de la disminución de la contaminación para la protección de los recursos hidráulicos se divide entre las agencias locales, estatales y federales. Bajo la tradición norteamericana de responsabilidad comunal, cada ciudad e industria tiene la obligación bien definida de construir, hacer funcionar y conservar todas las obras de control de la contaminación que sean necesarias para cerciorarse de que sus desechos no causen perjuicios a terceros.

El estado aplica las disposiciones reglamentarias de las leyes para controlar la contaminación y llevar a cabo programas estatales que incluyan investigaciones, desarrollo de planes coordinados, establecimiento de normas de calidad del agua y tratamientos de desechos requeridos, ayudando a los intereses locales a obtener el apoyo público de las obras de tratamiento de desechos que se necesitan.

Las agencias estatales proporcionan la revisión y aprobación por los ingenieros

de los planes de construcción para la instalación y extensión de sistemas públicos de albañales y plantas de tratamiento, inspección de funcionamiento de plantas, suministro de servicios de laboratorio para determinar la eficacia del tratamiento, así como los permisos o certificados para los operadores de sistemas de albañales. Muchos estados tienen normas para el diseño, construcción, funcionamiento y mantenimiento de sistemas de albañales y plantas de tratamiento, y en 30 de ellos las autoridades estatales que controlan la contaminación dependen del departamento de salubridad del mismo. En 9 estados más el Departamento de Salubridad es la agencia ejecutiva de una junta o comisión, y en otros 9 estados el Departamento de Salubridad tiene un representante en la agencia oficial de recursos hidráulicos o de control de la contaminación de las aguas.

Por lo menos 7 estados dan cierta ayuda financiera a las municipalidades para la planeación o construcción de plantas de tratamiento de aguas negras. Por ejemplo, Pennsylvania promulgó una ley que establece que, a partir de 1954, aquellas municipalidades que hayan construido obras de tratamiento de aguas negras desde 1937, tienen derecho a ser reembolsadas con fondos del estado en proporción del 2% anual del costo de ellas durante 50 años. Pennsylvania concede también aportaciones de ayuda para que las ciudades puedan reembolsarse del costo de preparación de planos para obras de tratamiento.

LAS RESPONSABILIDADES FEDERALES son primordialmente en apoyo destinado a ayudar y consolidar los programas estatales, e incluyen investigaciones, ayuda técnica sobre problemas especialmente difíciles que requieran personal altamente especializado, u otros recursos con que no siempre cuentan las agencias estatales individuales, promoción de los esfuerzos coordinados interestatales y cumplimiento limitado de las soluciones a los problemas interestatales de contaminación.

La Ley Federal para el Control de la Contaminación de las Aguas de 1948 estableció el principio de ayuda limitada federal a las municipalidades para la planeación y construcción de plantas de tratamiento de aguas negras, autorizando un presupuesto anual de un millón de dólares para concesiones de planeación, y de 22.5 millones de dólares para préstamos de construcción. Sin embargo, no se han hecho todavía ningunas concesiones o préstamos, ya que el Congreso no ha hecho ninguna aplicación de fondos para ese objeto.

Bajo esa ley federal, el desarrollo cooperativo de programas estatales y federales completos ha progresado hasta el punto de que se han publicado datos preliminares para todas las cuencas de los ríos de la Nación. El Cirujano General ha aprobado programas completos y concluyentes que se están llevando a la práctica por las agencias estatales de 14 cuencas de desagüe, incluyendo todo el sistema del río Missouri, la mayor parte de la cuenca del alto Mississippi, la cuenca central de Columbia y otras. Había otros programas completos en diversas etapas de desarrollo y aunque la adopción de uno de ellos no disminuye de por sí la contaminación, da a los habitantes de la cuenca fluvial, a los funcionarios de las ciudades, dirigentes industriales, agricultores, pescadores, conservadores y otros, un esquema de sus responsabilidades en relación con todo el problema y con las responsabilidades de sus vecinos, corriente arriba y corriente abajo, que se basa en buenas prácticas de ingeniería y en sólidos principios económicos.

Se ha obtenido un mejoramiento en la cooperación interestatal por medio de convenios entre los diversos estados. Cinco de ellos, que se relacionan con los ríos Ohio, Potomac y Delaware, con las aguas de la Nueva Inglaterra y con las aguas interestatales del área de la ciudad de New York, estaban ya funcionando en 1954. En algunas áreas se han formado consejos regionales para el control de la contaminación como medida preparatoria hacia convenios más formales. Entre los resultados dignos de mención obtenidos por esos consejos, se cuenta el acuerdo sobre normas de calidad del agua celebrado por los 10 estados de la cuenca del Missouri y por los 4 del noroeste del Pacífico. Los grupos y consejos del convenio interestatal

proporcionan un medio de acción coordinada para el control de la contaminación en casi todas las zonas del país.

Se ha dado también más apoyo a la cooperación interestatal mediante la adopción de nuevas leyes de control de la contaminación de las aguas o de reformas a las ya existentes en más de la mitad de los estados desde 1948. Las leyes reformadas, que incorporan los principios básicos establecidos en un proyecto de ley estatal desarrollado por el Servicio de Salubridad Pública, han dado por resultado programas estatales más sólidos que dan soluciones más uniformes y consistentes a los problemas de la contaminación.

La responsabilidad de la comunidad en la construcción de las obras de tratamiento necesarias puede cumplirse en mejor forma mediante las actividades bien informadas de los habitantes de la localidad. Debe llamarse la atención del público a los hechos relacionados con los problemas y necesidades causadas por la contaminación.

El obtenimiento del tratamiento más adecuado al menor costo requiere los servicios profesionales de ingenieros, abogados y expertos en fianzas municipales. Los ingenieros diseñan las obras de tratamiento para que llenen las necesidades específicas de la localidad, supervisan la celebración de contratos y la construcción de las obras y adiestran a los operadores de las plantas. Es indispensable la ayuda legal para cerciorarse de que haya título de propiedad bien definidos, que se cumpla con las leyes estatales y locales y que se sigan procedimientos legales de financiamiento. El método empleado con más frecuencia para la obtención de ingresos consiste en la aplicación de impuestos generales sobre la propiedad, amillaramientos especiales y cargos por servicios, y a menudo se emplea una combinación de todos ellos.

Otra posibilidad que es perfectamente legal en muchos estados consiste en la formación de un distrito o autoridad de salubridad, compuesto de todas las comunidades vecinas o parte de ellas.

Se necesitan progresos más rápidos en relación con ciertas fases del problema, a pesar de lo mucho que se ha conseguido dentro de los programas locales, estatales y generales.

La construcción de obras para el control de la contaminación, tanto municipal como industrial, se está quedando atrás a medida que aumentan las cantidades de desechos. Gran parte de los esfuerzos estatales y federales de los últimos años se han enderezado hacia la producción del material básico necesario para obtener un buen programa de construcciones. Esos esfuerzos deben encaminarse actualmente a llevar a cabo una campaña constante para elevar los niveles de construcción, a fin de que llenen las necesidades existentes.

La investigación no ha podido igualarse con los nuevos problemas creados por los progresos de la tecnología y con los cambios habidos en las normas del agua. Se necesita mayor énfasis en muchas áreas de investigación, a fin de permitir la obtención de medidas de control más rápidas y eficaces, y algunos de los problemas que necesitan atención especial urgente, son los siguientes:

El impacto sobre la salubridad pública del incremento de la contaminación bacteriana, de virus y de substancias químicas, y la capacidad de los procedimientos actuales para solucionar el incremento de volumen y los nuevos tipos de contaminación.

Una nueva definición de los fenómenos de purificación natural, a la luz de la nueva composición de los desechos, incluyendo las substancias químicas.

El desarrollo de métodos de tratamiento de desechos más económicos, ya que el éxito en esta fase ahorraría millones de dólares en el costo de construcción de plantas de tratamiento.

Ajuste de técnicas de laboratorio para medir los niveles de contaminación en las corrientes y para determinar la eficiencia de los tratamientos del agua.

El efecto del almacenamiento en el comportamiento de la contaminación en las corrientes.

Un gran número de nuevos problemas asociados con la contaminación de las corrientes por los materiales radioactivos.

Es indispensable una integración

más eficaz de los planes concluyentes para controlar la contaminación del agua con los programas generales para desarrollar nuestros recursos hidráulicos, a fin de cerciorarse de que se tengan en cuenta los efectos causados en la salubridad pública por la reglamentación de las corrientes mediante la construcción de proyectos para el control de inundaciones, navegación, producción de energía y riegos, o una combinación de ellas. Las obras para la disminución de la contaminación se diseñan considerando las condiciones de flujo de las corrientes que existen en las corrientes de agua en las que desaguan. La norma que rige el tipo de tratamiento que hay que emplear, es el registro del flujo más bajo de la corriente de agua. El cambio en las características del flujo de la corriente que resulta de la construcción y funcionamiento de estructuras que las reglamentan, puede alterar gravemente la eficacia de las instalaciones para el tratamiento del agua, nulificando los beneficios para la salubridad pública que puedan obtenerse, así como los efectos benéficos que la dilución adecuada del agua proporciona a todos los usuarios de la misma.

Mediante la debida consideración de estos factores en las etapas iniciales de planeación de los proyectos, a menudo pueden hacerse ajustes en el diseño que eviten esas dificultades sin perder ninguno de los beneficios de la reglamentación de las corrientes.

La utilidad continuada de nuestras corrientes dependerá de nuestro deseo y capacidad para controlar su contaminación, ya que siempre habrá una demanda creciente de agua pura. Sólo mediante la recuperación y la nueva utilización del agua que ya se ha usado para uno u otro de sus múltiples fines, podemos llenar esas demandas siempre crecientes, y no podemos escapar al hecho de que a menos de que se controle la contaminación, la salubridad y la economía de la nación sufrirán daños considerables.

CARL E. SCHWOB *ha sido jefe del Programa de Suministros de Agua y Control de la Contaminación del Servicio de Salubridad Pública del Departamento de Salubridad, Educación y Bienestar, desde que se estableció en 1984 para aplicar las disposiciones de la Ley Federal para el Control de la Contaminación de las Aguas.*

El tratamiento de las aguas de desecho para las ciudades y las industrias

Ralph E. Fuhrman

LA UTILIZACIÓN DEL AGUA por los habitantes y las industrias le imparte ordinariamente ciertas cualidades que la hacen inadecuada para usos ulteriores sin someterla a ciertos procesos, sin dar tiempo a que ocurra la purificación natural, o a ambos.

Esencialmente pueden aplicarse a las aguas de desperdicio los mismos volúmenes de agua, excepto en aquellas industrias que puedan tener un elevado consumo de la misma. La cantidad de aguas negras domésticas puede variar de 70% a 130% de las cantidades de agua, dependiendo del carácter de la utilización, del nivel del agua del suelo y de la impermeabilidad de los sistemas de tuberías. Con una impermeabilidad perfecta, que no puede obtenerse en la práctica, los desechos líquidos de cualquier comunidad serían prácticamente iguales al agua suministrada.

Los extensos sistemas de tuberías de dominio público necesarios para dar servicios de agua a cada propiedad privada, se duplican con los sistemas de tubería necesarios para recibir las aguas de desecho de cada una de ellas. El sistema de albañales es la contraparte del sistema de aguas y ambos son necesarios para la comunidad, a fin de poder disfrutar completamente de los beneficios de un suministro público de agua. Esos sistemas se unen en nuestros hogares mediante los implementos de plomería, y existen las mismas relaciones generales en los usos industriales.

La autoridad que recoge los desechos líquidos de una comunidad asume la obligación de disponer de ellos en forma ade-

cuada. Su volumen requiere que esos desechos se vacíen en una extensión de agua, aunque en regiones áridas puede practicarse su descarga en el suelo con fines de riego. Una disposición inadecuada puede causar la contaminación de las corrientes, con el consiguiente peligro para la vida que haya en ellas y cerca de ellas, la disminución de la calidad de los suministros de agua corriente abajo y los trastornos y molestias para la vista y el olfato.

En la mayoría de los sitios el problema consiste en la descarga de las aguas negras en una corriente de agua y en cualquier tratamiento necesario de los desechos antes de su descarga, para disminuir a un nivel adecuado la carga de materiales de contaminación en la superficie receptora de agua.

Ordinariamente las aguas negras domésticas comprenden más del 99.9% de agua, y aun una parte considerable del 0.1% restante (1,000 partes por peso por millón), consiste de las mismas substancias minerales que originalmente se encontraban presentes en el agua. El aumento del contenido de sólidos debido a su uso sólo es en relación de unos cuantos cientos de partes por millón; pero la naturaleza de ese material adicional y no su cantidad es lo que puede hacer necesario el tratamiento.

Ese material se compone de los desechos orgánicos vivientes, químicamente complejos. Entre ellos se encuentran muchas bacterias, algunas de las cuales pueden causar enfermedades. La cantidad total de bacterias que cada persona añade diariamente es aproximadamente de 100 billones, sin que exista una relación bien definida entre las bacterias inofensivas y la pequeña proporción de bacterias productoras de enfermedades en ese total. Como las bacterias peligrosas pueden ocurrir en cualquier tiempo, las aguas negras deben considerarse siempre como potencialmente nocivas, y es seguro que cualquier parásito perjudicial al hombre se encontrará presente en los suministros de aguas de desecho.

En la vida es indispensable la rápida remoción de los desechos por el sistema de agua. Se necesitan cañerías adecuadas en cada edificio para la protección de la salud, y el sistema de albañales continúa esa protección en escala comunal. Mediante esta combinación de manejo de las aguas de desecho y de suministros de agua tratados en forma adecuada, se controlan en gran parte las enfermedades que se propagan en el agua. Si se interrumpe el camino de infección entre las aguas de desecho y los suministros públicos de agua, se ayuda grandemente a disminuir las fiebres tíficas y paratíficas, las disenterías amibianas y bacilares y el cólera.

Al final, por medio de la autopurificación natural, la corriente de agua receptora volverá a su estado normal de limpieza, y el proceso de disposición de las aguas negras no puede considerarse completamente terminado sino hasta que se llega a ese punto. Podrían propagarse enfermedades en los mariscos o berros que se cultivan en aguas contaminadas, en los productos de jardines que se riegan con aguas negras o contaminadas o que se fertilizan con cienos de albañales que contienen organismos perjudiciales, en las tierras contaminadas, o por las moscas que llevan la contaminación a tierras buenas, o en los baños o contactos incidentales con aguas contaminadas a lo largo de las costas o en las embarcaciones.

En todos los estados el control de la contaminación del agua radica en el departamento de salubridad de cada uno de ellos o en una junta en la que está representado el departamento estatal al que concierne la salubridad, la conservación del agua y el desarrollo industrial. Ese control se ejercita solicitando la aprobación de obras para el tratamiento de los desechos antes de su construcción, cerciorándose del funcionamiento eficaz de las mismas. Periódicamente se hacen inspecciones de las plantas y aguas receptoras para asegurarse que las estructuras continúan funcionando en debida forma.

Los problemas interestatales se atacan por organizaciones diferentes en nuestro país. Como la contaminación del agua no ocurre de acuerdo con los linderos estatales, se obtiene una estrecha colaboración por medio de grupos que quedan dentro

de una cuenca de desagüe, siendo típicas de esas organizaciones la Comisión de Salubridad de las Aguas del Río Ohio, que comprende la cuenca del Ohio, a excepción de la zona que se organizó previamente con el nombre de Administración del Valle de Tennessee; la Comisión Interestatal de Salubridad, que da servicio a la ciudad de New York; la Comisión Interestatal de la Cuenca del Río Delawuare, y la Comisión Interestatal de la Cuenca del Río Potomac. En escala nacional, la División de Control de Contaminación de Aguas del Servicio de Salubridad Pública de los Estados Unidos de Norteamérica, ayuda primordialmente por medio de informes e investigaciones, y esta obra, autorizada originalmente por la Ley Pública núm. 845 del Cuadragésimo Octavo Congreso, coopera con las agencias estatales para el incremento de las actividades de control de la contaminación de las corrientes.

La descarga de aguas negras domésticas en una corriente de agua proporciona un medio para la descomposición de los diferentes productos químicos. Los compuestos nitrogenados de las materias orgánicas muertas se descomponen en nitrógeno en forma de amoníaco (NH_3). Bajo condiciones aerobias la oxidación convierte el amoníaco en nitrato de nitrógeno (NO_3), forma en que el nitrógeno se reconoce como alimento de plantas y constituyente común en los fertilizantes. Cuando se absorbe por las plantas se incorpora como proteína de ellas, y si se consume por un animal, forma proteínas animales, iniciándose nuevamente el ciclo con la excreción o muerte del animal. De modo semejante las substancias carbonosas se oxidan para formar bióxido de carbono, que queda luego disponible para la materia viva de las plantas. Igualmente, los compuestos azufrosos se descomponen en sulfuro de hidrógeno, y mediante la oxidación ulterior, en azufre y sulfatos, pudiendo las plantas absorber el azufre en esa forma.

En todos esos ciclos la atmósfera es el gran depósito de oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono; pero al mismo tiempo esos gases pueden quedar disponibles disueltos en el agua. Debido al importante papel del oxígeno en el proceso general de descomposición, el contenido de oxígeno tiene importancia crítica para la condición del agua, y si no se mantiene en condiciones aerobias ocurrirá la putrefacción, produciendo malos olores y molestias generales.

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua, que es su característica más importante, es una norma principal de la cantidad de materiales de contaminación o de elementos constituyentes que necesitan oxígeno que pueden descargarse en una corriente de agua.

La carga que puede permitirse se determina entonces por medio de la cantidad y demanda de oxígeno de las aguas negras, y con esa información se determina la posible necesidad de tratamiento.

Las eficiencias de los tres procedimientos de tratamiento de aguas negras más comunes, expresadas en porcentajes de remoción de la demanda de oxígeno, son: Sedimentación sencilla, de 25 a 40%; sedimentación sencilla más filtrado de escurrimiento y sedimentación secundaria, de 80 a 95%, y cienos activados, de 70 a 95%.

Los valores dados dependen del buen funcionamiento de las plantas y de que haya provisiones adecuadas para los procesos relacionados, tales como digestión de cienos u otros medios de tratamiento de los mismos. Por ejemplo, una comunidad de 100,000 personas tiene una corriente de agua disponible para recibir sus aguas negras. Si esa corriente puede asimilar sólo las que provienen de 25,000 personas, sería necesario emplear filtros de escurrimiento o tratamientos de cienos activados para obtener una disminución en los constituyentes que necesitan oxígeno para una población equivalente al 75%; pero si esa misma comunidad tiene una corriente capaz de asimilar las aguas negras de 75,000 personas, la disminución requerida por el tratamiento sólo sería de 25%.

En ese caso sería adecuado la sedimentación sencilla, que es más económica que las unidades de tratamiento biológico. A menudo la sedimentación sencilla se designa como tratamiento primario, mientras que el tratamiento complejo incluye tanto

el tratamiento primario como el secundario.

Los métodos de tratamiento de las aguas negras incluyen dispositivos de cribas para la remoción de sólidos en suspensión, tales como trapos, trozos de madera y otros desperdicios en ellas; la remoción de arenas mediante la sedimentación rápida en cámaras de arena o tanques de detritus, y la remoción de los sólidos que flotan por medio de tanques de flotación o de asentamiento.

Los materiales finos que se encuentran en suspensión y que no se remueven por las cribas o las cámaras de arena se sujetan a sedimentación. Los tanques para este objeto deben tener medios adecuados para la remoción de los cienos asentados en el fondo, y esto puede lograrse mecánicamente o mediante fondos construidos en forma de tolvas. Las pequeñas instalaciones que sólo dan servicio a unos cuantos cientos de personas, pueden emplear una fosa séptica que combina los procesos de sedimentación y digestión de cienos con éxito relativo. El tanque Imhoff, muy superior a la fosa séptica, combina el proceso de sedimentación de aguas negras con el de digestión de cienos en una sola estructura hecha en tal forma que no ocurra interferencia entre ellos. Esos tanques pueden emplearse con ventaja en instalaciones que den servicio a varios miles de personas.

Los métodos secundarios de tratamiento, que son esencialmente unidades de oxidación biológica, consisten frecuentemente de filtros de escurrimiento.

Esos filtros consisten de cuencas de 3 a 6 pies de profundidad llenas de formas de grava, piedra, cenizas, escorias o arcilla vitrificada hechas especialmente para el objeto. Las aguas negras ya asentadas se aplican a la superficie filtrante por medio de toberas fijas colocadas en la superficie de la cama o por un tubo giratorio dotado de toberas.

En cualquier caso, el escurrimiento de las aguas negras asentadas sobre la piedra produce un contacto íntimo entre los organismos que medran naturalmente en los crecimientos viscosos de las piedras, el oxígeno y el material orgánico disuelto o finamente suspendido en las aguas negras que se aplican. La oxidación resultante convierte gran parte de la materia orgánica en una forma que puede asentarse y que se remueve por el procedimiento de sedimentación secundaria. Es práctica común la recirculación del afluente de filtrado a través de la unidad para aumentar el suministro de organismos y el oxígeno, lo que produce una elevada eficiencia por volumen de unidad del medio filtrante.

La oxidación de los sólidos en las aguas negras por los cienos activados se obtiene en tanques que tienen ordinariamente 15 pies de profundidad, y a través de los cuales fluyen las aguas negras por un periodo de tiempo de 1.5 a 6 horas, o más. Durante ese tiempo se libera aire comprimido en el fondo del tanque de circulación de aire, a fin de proporcionar un abundante suministro de oxígeno y una agitación adecuada para el contenido del tanque. El cieno que se produce se remueve por sedimentación secundaria y parte de él se devuelve al proceso en la entrada del tanque de circulación de aire, a fin de proporcionar un abundante suministro de organismos así como una gran superficie para la absorción del influjo de sólidos.

Pueden emplearse como tratamiento secundario los grandes tanques de oxidación poco profundos o, en algunas localidades, como tratamiento total. Su efecto oxidante depende de la absorción de oxígeno de la atmósfera y en menor grado de la producción de oxígeno por las plantas acuáticas. En regiones áridas, esos estanques pueden constituir todo el proceso de tratamiento. Son económicos y proporcionan un refugio para las aves acuáticas.

Los tanques de sedimentación se emplean para remover materias que se asientan naturalmente. El cieno asentado se compone en gran parte de los sólidos contenidos en las aguas negras y, por lo tanto, debe tratarse para que pueda removerse sin riesgos ni molestias.

La práctica más común para el tratamiento de aguas negras municipales es la digestión, que consiste en retener los cienos en tanques cerrados que a veces se calientan durante 30 días o más. Se excluyen de ellos la luz y el aire, obtenién-

dose así condiciones completamente anaerobias. Bajo controles adecuados los sólidos se descomponen, debido a la acción bacteriana, en compuestos sencillos e inofensivos; el cieno se licúa en parte y en parte se gasifica, y, por lo tanto, pierde su olor desagradable y se desagua y seca fácilmente en camas de secado que consisten en cuencas poco profundas con un fondo de arena que desagua en su parte inferior. En las grandes comunidades puede extraerse el agua de los cienos mediante filtros giratorios de vacío, sometiéndolos a un proceso ulterior, secándolos con calor.

Durante la digestión los cienos producen un gas que consiste, aproximadamente, de 60% de metano. Las cantidades ordinarias pueden variar de 0.75 a 1.0 pies cúbicos diarios por persona. El calor disponible en ese combustible, que llega aproximadamente a 500 unidades termales británicas diarias por persona, puede usarse en una planta para calentar la atmósfera o el agua, para quemadores e incineradores de laboratorio, para desperdicios o cienos, y en las plantas más grandes, para motores de combustión interna que produzcan electricidad por medio de generadores o para funcionamiento directo de grandes unidades mecánicas, tales como bombas o compresoras de aire.

Generalmente los cienos digeridos quedan disponibles para usos agrícolas después de que se secan. Lo que a veces se llama comúnmente "fertilizante" se considera a menudo como acondicionador de tierras, porque su contenido de humus es aproximadamente del 50% de los sólidos secos. A base de peso seco, el contenido de nitrógeno en forma de nitratos puede ser aproximadamente de 2% en los cienos primarios digeridos, hasta 6% en los cienos activados. A menudo el contenido de ácido fosfórico y potasa es aproximadamente de 1%. El ácido fosfórico está aumentando en las aguas negras municipales debido al fósforo que contienen algunos detergentes sintéticos.

En algunas ciudades se venden los cienos, pero el producto de su venta no se aproxima al costo total de tratamiento de las aguas negras. Sin embargo, es un método satisfactorio de disponer de ellos, porque devuelve elementos esenciales para el crecimiento de las plantas en la tierra.

Los desechos industriales arrastrados por las aguas tienen muchos elementos constitutivos aparentemente tan variados como los productos industriales mismos y las substancias que entran en su fabricación. Se usan grandes cantidades de agua sólo para fines de enfriamiento, y su contribución perjudicial en las corrientes consiste en la elevación de la temperatura. Si ésta es lo suficientemente alta para perjudicar la vida biológica normal de las corrientes, puede ser indispensable disipar ese calor antes de su descarga.

Los procesos de lavado, remojado, extracción, impregnación, tratamiento químico y otras operaciones, pueden impartir al agua cualidades que son inconsistentes con la salubridad de las corrientes. Los desechos que contienen iones tóxicos o substancias químicas pueden destruir la vida biológica necesaria para la autopurificación de las corrientes o para el debido funcionamiento de los procesos de tratamiento del agua.

Las substancias químicas orgánicas, aceites, tintes y sólidos que flotan, constituyen problemas especiales.

El problema de tratamiento de las aguas industriales de desecho debe atacarse primeramente por las mismas plantas industriales. Deben hacerse todos los esfuerzos razonables para disminuir los desperdicios arrastrados por el agua, seleccionando o cambiando los procesos de fabricación para disminuir el volumen y concentración de esos desechos. Otros medios incluyen la recuperación de productos secundarios de los desechos y la selección de nuevos ciclos de utilización del agua para obtener su máxima conservación. Sólo después de que se hayan explorado estas soluciones debe considerarse la descarga de los desechos en un sistema de albañales municipales o en las plantas de tratamiento de aguas de desechos industriales de las empresas. Se necesitan cuidados especiales dentro de las fábricas para obtener esos resultados. Debe mantenerse al mínimo el derrame de substancias que puedan tener acceso a los albañales, y al lavar utensilios, equipos y suelos debe emplearse la menor cantidad de agua posible.

La descarga de desechos industriales en los albañales municipales es muy conveniente, porque una vez que se depositan en los albañales las municipalidades se hacen responsables de su manejo, tratamiento y disposición. A menudo el volumen de desechos industriales es tan pequeño que apenas se hace notar, pero puede perjudicar gravemente el sistema de albañales o la planta de tratamiento si se pasa por alto su naturaleza. La autoridad responsable del funcionamiento del sistema de albañales debe controlar la descarga de aguas industriales de desecho y exigir que se excluyan de los albañales, o que se sometan al tratamiento previo que sea necesario antes de que se descarguen en los albañales.

Los métodos de tratamiento de las aguas industriales de desechos incluyen los que se emplean comúnmente para las aguas negras domésticas. A menudo se neutralizan para que los desechos puedan someterse al tratamiento, y frecuentemente se usan tanques de igualación para recibir los desechos a medida que se producen y descargarlos en proporción casi constante, para evitar excesos de carga en las instalaciones de tratamiento.

Unos cuantos ejemplos indicarán la naturaleza tan variable de las aguas industriales de desecho y los métodos de tratamiento aceptados.

Los desechos de la leche incluyen las aguas con que se lavan los botes, botellas y tanques, así como los sueros que se originan en las lecherías, cremerías, plantas de deshidratación de leche y fábricas de quesos. Como no se obtienen ningunos beneficios con la sedimentación y posiblemente se causen ciertos perjuicios, el tratamiento ordinario consiste en el empleo de filtros directos de escurrimiento. A fin de disminuir los problemas de tratamiento y ahorrar desechos, los sueros se ofrecen generalmente a los agricultores como alimento para cerdos. A menudo los desechos de las lavanderías se tratan con éxito con filtros directos de escurrimiento. Los desechos de las enlatadoras pueden incluir substancias químicas tóxicas, tales como sulfuros y cromatos.

A menudo se emplean tanques de igualación para disminuir las descargas parciales. Después de su igualación los desechos reaccionan a los procesos que se aplican a las aguas negras domésticas. Los desechos de las fábricas de papel contienen grandes cantidades de fibras y substancias químicas agotadas. El carbón activado, producto secundario importante que se usa principalmente para la purificación del agua, se desarrolló hace casi 30 años de substancias que antes se desechaban.

Las nuevas adiciones a las aguas industriales de desecho tienen su origen en los establecimientos que manejan substancias radioctivas. Como la proporción de radioactividad de las mismos no puede acelerarse ni demorarse, el único método de tratamiento consiste en la concentración de los desechos por coagulación o evaporación y en su almacenamiento bajo control hasta que lleguen a un nivel inofensivo de radioactividad. Tratándose de substancias que necesitan largo tiempo para ello, el mejor método conocido hasta la fecha consiste en arrojarlas al mar.

Los sistemas de albañales sanitarios de la mayoría de las ciudades norteamericanas se han desarrollado al parejo de ellas. Muchos de esos sistemas se instalaron a un costo muy bajo, ya que los actuales costos de construcción de albañales sanitarios son aproximadamente de 35 dólares por persona para la primera instalación. Esos costos son mucho mayores en una comunidad pequeña que en una grande, ya que la primera puede requerir 3 millas de albañales para dar servicio a 1,000 personas, mientras que puede ser suficiente una milla en las ciudades mayores.

Además, si fuera necesario, el costo de construcción de las instalaciones para el tratamiento primario de las aguas negras sería de 4 a 8 dólares por persona, y los costos de funcionamiento podrían ser de 30 a 50 centavos anuales por persona. Si se emplean filtros de escurrimiento, el costo inicial puede ser de 10 a 30 dólares por persona, y los costos anuales de funcionamiento de 0.75 a 1.25 dólares anuales por persona. En forma semejante, el costo de instalación de una planta de tra-

tamiento de cienos activados podría ser de 8 a 25 dólares al año por persona, y el costo de funcionamiento de 1.50 a 4 dólares. En todos estos casos, las comunidades más pequeñas tienen costos más altos.

En la mayoría de los sistemas municipales de albañales, éstos han crecido, sin tener en cuenta el problema general de financiamiento, a medida que son indispensables los requerimientos eventuales de mantenimiento, reparación y construcción de líneas auxiliares. En años recientes la presión del incremento de costos y la demanda pública general para la limpieza de las corrientes, han obligado a las ciudades a desarrollar métodos adecuados para el financiamiento de esas instalaciones.

Teniendo en cuenta la naturaleza especial de los servicios de agua y albañales para sus habitantes, muchas ciudades han cambiado la facturación de los servicios de agua, incluyendo en sus recibos tanto el agua como los albañales para obtener los fondos necesarios para cubrir los gastos del sistema de albañales. Se han utilizado otras medidas, tales como un registro del número y tipo de implementos sanitarios o el número de dormitorios en cada casa, como base para la facturación del servicio de albañales, y es práctica equitativa el añadir un porcentaje determinado a los recibos de aguas, facilitando así la facturación y las cobranzas. En la mayoría de las aplicaciones modernas de los cargos por servicio de albañales, se paga la inversión inicial hecha en ellos, ya sean comunes o de servicio, por medio de un amillaramiento sobre las propiedades deslindadas. En esa forma los cargos por servicios de albañales suministran los fondos necesarios para la construcción de los albañales principales, albañales laterales, salidas, y si son necesarias, de las plantas de tratamiento. Bien administrado ese método de financiación pone al sistema de albañales bajo una base de financiación de servicios que permite que el contribuyente obtenga las comodidades que necesita.

RALPH E. FUHRMAN *es secretario ejecutivo y editor de la Federación de Asociaciones de Aguas Negras y Desechos Industriales en Washington, Distrito de Columbia.*

Los problemas a que se enfrentan nuestras ciudades

Harry E. Jordan

EL PRIMER SISTEMA PÚBLICO de agua en Norteamérica de que tengamos pruebas auténticas fue la Compañía de la Planta de Aguas de Boston, que en 1952 suministraba agua para consumo doméstico y para protección contra incendios a los residentes de un solo barrio, la calle Conduit.

Casi un siglo después hubo un primer suministro diseñado para dar servicio a toda una comunidad. Un agricultor llamado Schaeffer entubó el agua de un manantial que había en su granja, llevándola a lo largo de la calle principal de un pueblo de Pennsyvania que actualmente se conoce con el nombre de Schaefferstown.

En 1754, en Bethlehem, Pennsylvania, Hans Christiansen, un molinero inmigrante, comenzó a trabajar en la primera planta de bombeo para servicio público que comenzó a funcionar con regularidad en 1755. El suministro de agua proporcionado a Winchester, Virginia, en 1799, parece haber sido el primer proyecto completo que se haya organizado como empresa pública. En 1800, 17 ciudades se beneficiaban con servicios públicos de agua, y a fines de 1850, 83 ciudades contaban con esos servicios.

En 1900 había 3,300 sistemas de agua funcionando, y en 1950, aproximadamente 17,000 comunidades tenían servicios públicos de agua.

CASI TODOS LOS PRIMEROS sistemas consistían de un tramo corto de tubería que traía el agua por gravedad de un manantial o corriente cercanos. Generalmente no había otro almacenamiento que el que suministraba las mismas obras de entrada o desviación, y las tuberías huecas de madera o de plomo que se empleaban tenían

una capacidad tan pequeña que sólo podían cubrirse las más ínfimas necesidades domésticas de los consumidores, no habiendo ninguna provisión para protección contra los incendios. La introducción posterior de la tubería de fierro vaciado, que se importó primeramente de Inglaterra, hizo posible la construcción de líneas mayores que podían transportar las cantidades de agua requeridas.

Antes de mediados del siglo XIX se construyeron acueductos de mampostería en el declive hidráulico de los depósitos de Croton en New York, y Cochituate en Boston. Otras ciudades utilizaban tuberías de duelas de madera, de fierro forjado o de mortero de cemento que se revestían al colocarlas en las trincheras.

Otro adelanto en los primeros dos siglos consistió en la bomba de vapor de tipo recíproco, que más adelante se convirtió en las bombas horizontales de tipo compuesto, de alto rendimiento, tan familiares en aquel entonces, y en las enormes bombas verticales de triple expansión. La bomba centrífuga, de tamaño más pequeño pero de mayor velocidad que una bomba de tipo recíproco de igual capacidad, entró primeramente a la competencia como tipo de baja succión, y se ha perfeccionado en tal forma durante el último medio siglo que actualmente puede suministrarse para cubrir cualquier requisito de capacidad de carga, y para dar un servicio confiable de elevado rendimiento.

La bomba centrífuga, ya del tipo horizontal o de turbina de pozo profundo, movida por una turbina de vapor o motor eléctrico, y a menudo con un mando de emergencia por medio de motores de combustión interna, se emplea ahora casi universalmente en las instalaciones de bombeo de agua.

EN 1870 SE CONSTRUYÓ en Poughkeepsie, New York, la primera planta de filtros lentos de arena, diseñadas de acuerdo con las prácticas que se seguían en Inglaterra. Veinte años después se instalaron los primeros filtros mecánicos rápidos de arena, y para fines del siglo se encontraba en servicio una cantidad diez veces mayor de filtros de tipo norteamericano que los del tipo lento de arena.

En 1925 había en servicio 587 plantas con filtros rápidos de arena y 47 con filtros lentos, con una capacidad total calculada aproximadamente de 5 billones de galones diarios.

Comenzaron a usarse entonces otros tipos de tratamiento de aguas, y para 1948 las plantas de tratamiento de todas clases llegaban a 6,986, de acuerdo con un boletín del Servicio de Salubridad Pública, titulado *Sumario Estadístico de las Prácticas de Suministro y Tratamiento de Aguas en los Estados Unidos de Norteamérica,* que se publicó en 1952. Esas plantas producían más de 8 billones de galones diarios de agua pura.

Se utilizaba la desinfección en 6,137 plantas que daban servicio a más de 80.600,000 habitantes. Se usaba clorina líquida en un gran número de instalaciones que daban servicio al mayor porcentaje de población.

En nuestras ciudades norteamericanas, muere actualmente de fiebre tifoidea una persona en 100,000 al año, mientras que a principios del siglo había casi 100 muertes anuales por cada 100,000 habitantes.

Dos terceras partes de la población nacional disfrutan de los servicios de los sistemas públicos de agua por medio de un total aproximado de 25 millones de cuentas de clientes. Debe darse crédito a ese servicio, que comprende la producción y distribución supervisada de aguas puras, de la desaparición casi total de los estragos que causaba la fiebre tifoidea hace 50 años y de la virtual eliminación de las epidemias de disentería que se propagaban en el agua.

DE LAS 16,747 COMUNIDADES que en 1948 contaban con servicios de agua en nuestro país, casi el 65%, la mayoría de ellas con menos de 5,000 habitantes, recibían agua del suelo, y el 29.6%, en su mayoría las grandes comunidades, se surtían de suministros superficiales. El porcentaje restante recibía aguas tanto del suelo como de fuentes superficiales. En toda la nación el 54.2% de las comunidades recibían aguas tratadas; más del 43% recibían aguas sin tratar, y el porcentaje restante recibía aguas tanto de suministros tratados como sin tratar.

Considerando el número de habitantes que disfrutaban de esos servicios, el mayor porcentaje, 54.6%, recibía aguas de fuentes superficiales, y 79.6% de la población total que gozaba de esos servicios recibía aguas no tratadas como único suministro.

En 1948 había 6,986 plantas de tratamiento de aguas en los Estados Unidos de Norteamérica que daban servicio a más de 83.250,000 habitantes. La mayoría de ellas consistía de sencillas plantas de desinfección. Igualmente, esas plantas daban servicio al mayor número de habitantes y algunas de ellas incluían diversos procesos además del de desinfección.

Las plantas de filtros rápidos de arena daban servicio al 40.6% de la población total, que se beneficiaba con todos los tipos de plantas de tratamiento.

Aproximadamente el 74% de las 22,676 comunidades distintas inspeccionadas por el Servicio de Salubridad de nuestro país recibían suministros de agua (incluyendo todas las comunidades incorporadas en 1940 con 100 habitantes o más, y aquellas comunidades no incorporadas con 500 habitantes o más en 1940, para las cuales había cifras disponibles). El porcentaje de comunidades que cuentan con servicios de agua es menor de 90, sólo en el grupo de menos de 1,000 habitantes, y en ese grupo, 60.5% de las comunidades registradas contaban con suministros públicos.

Aproximadamente el 65% de los sitios que cuentan con menos de 500 habitantes reciben aguas no tratadas. El porcentaje de comunidades que reciben aguas no tratadas declina rápidamente a medida que aumenta su tamaño.

En las comunidades mayores, los suministros que dependen de fuentes superficiales dan servicio al mayor porcentaje de población, y ese mismo porcentaje recibe aguas tratadas. Los 93 sitios de más de 100,000 que componen solamente el 0.6% del número total de comunidades que tienen suministros públicos, dan servicio casi al 50% de la población total que recibe agua de suministros públicos.

Los suministros de agua son de propiedad pública aproximadamente en el 68.9% de las comunidades; son de propiedad privada aproximadamente en el 30.4%, y son de propiedad pública o privada aproximadamente en el 0.7%.

No hay una definición generalmente aceptada de lo que constituye un sistema de agua; pero muchas autoridades creen que el grupo más pequeño al que pueden proporcionarse instalaciones de suministro es de 200 personas, y la enumeración de obras hidráulicas se hace bajo esa base.

Después de 1945 ocurrió un extraordinario aumento en los proyectos residenciales suburbanos, muchos de los cuales incluían un sistema de aguas separado del sistema central de la ciudad. Bajo esa base se calculó en 1955 que había 18,000 localidades con 200 habitantes, o más, que contaban con suministros públicos de agua.

Las comunidades de los Estados Unidos de Norteamérica que tenían suministros públicos de agua en 1950 pueden tabularse como sigue: 93 con más de 100,000 habitantes; 1,141 con más de 10,000 habitantes; 2,267 con más de 5,000 habitantes; 8,314 con más de 1,000 habitantes, y 8,436 con menos de 1,000.

Es sorprendente la gran preponderancia de las pequeñas comunidades que contaban con sistemas de agua. El 90% de todos los suministros de agua se encuentran en comunidades de 5,000 habitantes, o menos, y el 50% llena las necesidades de comunidades con 1,000 habitantes, o menos.

El gran número de sistemas de agua en las comunidades pequeñas constituye un reto a los adelantos técnicos de nuestros servicios de suministro de agua No se puede esperar razonablemente en una comunidad de 1,000 habitantes, o menos, el operador de las instalaciones de agua sea un técnico diplomado o siquiera que haya adquirido sus conocimientos en otra forma que no sea por medio de la experiencia sin planeación alguna. Por lo tanto, algunas personas son partidarias de que los condados controlen los sistemas de agua que dan servicio a menos de 1,000 habitantes, y que los mismos condados actúen como consejeros en los que dan servicio de 1,000 a 5,000 usuarios.

EL USO DIARIO NORMAL DEL AGUA en los Estados Unidos de Norteamérica en 1900 era menor de 95 galones por persona. Esta cifra fue de 138 galones en 1950 y de 143 (aproximadamente) en 1955. El costo promedio de ese servicio por cada habitante fue un poco mayor de 2 centavos diarios en 1950.

La utilización total del agua por cada habitante de las ciudades de nuestro país puede calcularse como sigue: Para usos residenciales, 50 galones; industriales, 50 galones; públicos (protección contra incendios, limpieza de calles, etc.), 10 galones; comerciales e industriales, 20 galones; pérdidas (debidas a goteras, roturas, etcétera), 10 galones. La utilización del agua en las municipalidades no es en gran parte de consumo y menos del 10% de ella deja de regresar a las corrientes de agua abajo de las ciudades.

M. A. Pond, de la Universidad de Yale, publicó en 1939 un extenso estudio sobre los usos domésticos del agua en la Nueva Inglaterra, llegando a la cifra de 20 galones diarios por persona como la cantidad mínima necesaria para llevar a cabo las funciones vitales en debida forma. Calculó 1 galón para beber, 6 galones para lavado de ropa, 5 galones para aseo personal (sin incluir baños de tina o de regadera) y 8 galones para 2 desagües de sanitarios. Asignó también 25 galones para un baño de tina y 5 galones por minuto para uno de regadera.

LA NECESIDAD DE AGUA PARA RIEGO de céspedes es estacional y depende de las frecuencias de las lluvias y de las áreas de céspedes. O. M. Scott & Sons publicaron en 1953 un estudio sobre las necesidades y costos del agua en las ciudades que se encuentran desde la costa del Este hasta Wichita, Kansas. Calcularon que en esa área (que no incluye los estados del Sudeste, del Sudoeste y de la costa del Pacífico) se necesitarían 10 pulgadas de agua en estación por cada área de césped. El costo de 10 pulgadas de agua por cada 1,000 pies cuadrados que se rieguen era de 0.56 de dólar en Philadelphia, 2.50 en los suburbios de New York y 2.63 dólares en Wichita.

En las ciudades norteamericanas la demanda de los consumidores está creciendo anualmente en proporción aproximada de un galón diario por persona. Los factores que contribuyen a ese aumento son las instalaciones de acondicionamiento de aire, las máquinas domésticas lavadoras de ropa, las lavadoras automáticas de trastos, los trituradores de desperdicios, las instalaciones de aspersión de céspedes, etc. Esas demandas pueden aumentar o normalizarse a medida que las condiciones económicas mejoran o se vuelven estables. Todos estos usos del agua pueden considerarse como un lujo, y probablemente continuarán aumentando.

DESDE 1946 HAN AUMENTADO las ventas de algunos implementos que necesitan conexiones de agua. En 1946 se vendieron menos de 30,000 acondicionadores de aire, en 1953 se vendieron 1.075,000. En 1946 se vendieron más de 2 millones de lavadoras de ropa, y en 1953 se vendieren 3.014,000. En 1947 se vendieron aproximadamente 100,000 trituradores de desperdicios, y en 1953 se vendieron 353,000.

Dos empresas patrocinaron un estudio que se efectuó en la Universidad del Estado de Ohio para determinar la cantidad de agua caliente que utilizaría una familia normal de 5 personas estrictamente para fines domésticos. El total anual del uso doméstico, sin incluir los sanitarios, fue a razón de 7,500 galones mensuales, o sea casi 24.6 galones diarios por persona.

Durante los 8 meses que cubrió ese estudio, casi el 25% del total de agua utilizado en los hogares era agua caliente. De un total de 14,825.4 galones de agua caliente, 2,744 galones se vaciaban en los resumideros de las cocinas; 2,562.5 galones se usaban en las lavadoras de trastos; 1,908 galones se usaban en las máquinas de lavar ropa; 464 galones se usaban en los resumideros de servicio; 4,830 galones se usaban en las tinas de baño y regaderas, y 2,316.5 galones se usaban en los lavabos.

Cada baño de regadera requería 15.2 galones de agua caliente, y cada baño de tina necesitaba 11.4 galones de agua caliente en invierno y 9.4 en verano.

El costo del agua fue de 3.37 dólares durante el periodo cubierto por el estudio. El cargo por servicios de albañal fue de 1.5 dólares, y el gas empleado para calentar el agua tuvo un costo de 15.68 dólares.

Un estudio de utilización de agua y entradas familiares efectuado en 1947 en 15 comunidades de Illinois, demostró que en las familias con entradas bajas los usos residenciales del agua bajaban hasta 10 galones diarios por persona, y que las familias con entradas elevadas empleaban hasta 52 galones diarios por persona.

Los norteamericanos han invertido más de 7,500 millones de dólares en instalaciones públicas de suministro de agua. En un solo día esas instalaciones de agua producen más de 14 millones de galones, o casi 60 millones de toneladas de agua pura para beber.

Durante los veranos de 1953 y 1954 las escasas lluvias hicieron que casi la mitad de los sistemas de agua de los Estados Unidos de Norteamérica establecieran ciertas restricciones en la utilización del agua, a fin de evitar que dejaran de cubrirse por completo las demandas de los consumidores.

El incremento gradual de la demanda y la escasez de lluvias encontraron impreparados a muchos sistemas de agua, no pudiendo abastecer a los consumidores. Un hecho significativo fue que en muchos casos la dificultad radicaba en la falta de capacidad de almacenamiento o distribución, o, para expresarlo de otro modo, en que los responsables de las mejoras de los sistemas de agua no habían invertido los fondos necesarios para mantenerse al corriente con las necesidades de los consumidores. La industria de los suministros de agua se enfrenta a un recargo tremendo de obras de extensión que son indispensables para llenar las crecientes demandas de los consumidores.

EN UN INFORME RENDIDO por la Comisión Presidencial de Política de Materiales se da la utilización de agua en los Estados Unidos de Norteamérica en 1950 y el cálculo de necesidades en 1975, de acuerdo con la tabla que aparece al final de página (billones de galones diarios).

El aumento en las necesidades de agua en los 25 años se calculó en 50% para los suministros municipales, 170% para usos industriales y 25% para riegos. Se calculó el aumento de población en el mismo periodo en 33.1%, citándose, por lo tanto, un aumento de más de 1.5 veces la proporción de aumento de población en la utilización por persona del agua de las ciudades.

Deben considerarse los aumentos por sus efectos en masa. La ciudad de 10,000 habitantes en 1950, tendrá 13,300 habitantes en 1975; el consumo diario normal de agua en esa ciudad fue de 1.400,000 galones en 1950, y será de 2.067,000 galones en 1975.

En otras palabras, cualquier ciudad de los Estados Unidos de Norteamérica puede esperar para 1975 un aumento de población y un incremento en la proporción de utilización de agua de tal importancia que esa ciudad tendrá que proporcionar 142% de los suministros actuales para la ciudad del mañana, y esto en un día normal.

Suponiendo que la demanda máxima en 1965 corresponde a la marca de 1953, podremos calcular que una ciudad normal tendrá que proporcionar las facilidades necesarias para cubrir en 1975 un máximo diario que llegará a 235% de su promedio de 1952.

No tenemos evidencia de que cualquier región de los Estados Unidos de Norteamérica se esté volviendo más seca; pero las escaseces de lluvias han obligado a algunas ciudades a planear un almacenamiento mayor que el previsto con anterioridad para cubrir sus necesidades

	1950	*Porcentaje del total*	*1975*	*Porcentaje del total*
Municipal y rural	17	9	25	7
Industrial directo	80	43	215	62
Riegos	88	48	110	31
Totales	185	100	350	100

durante los periodos de escasas lluvias.

Como medio de suplementar los recursos hidráulicos de una área, las ciudades del Sudoeste y del lejano Oeste han creado plantas eficientes para el tratamiento de las aguas negras, de modo que las salidas de esas plantas puedan utilizarse para la reposición de aguas del suelo o para riegos.

No parece haber razón alguna que impida que las lluvias disponibles en nuestro país se almacenen en depósitos o en el suelo, o que se deje que fluyan a través de las corrientes controladas en cantidades suficientes para llenar las necesidades de las comunidades cuyo futuro puede depender de sus suministros de agua pura.

HARRY E. JORDAN *es secretario ejecutivo de la Asociación Norteamericana de Obras Hidráulicas de New York.*

El incremento en el uso del agua por la industria

Harry E. Jordan

LA CAPACIDAD INDUSTRIAL de los Estados Unidos de Norteamérica se ha triplicado desde 1939, cuando el valor que la fabricación añadía a los artículos llegó a 24,487 millones de dólares. En ese mismo periodo la industria aumentó su utilización del agua en 36%.

La mayor parte del agua utilizada por la industria se emplea para enfriamiento, una necesidad especialmente dominante en la producción de acero y hule sintético, y en la manufactura de motores de aviación y explosivos.

Las industrias alimenticias, las fábricas de papel y de pulpa y las plantas empacadoras de carne se cuentan entre las industrias que emplean grandes cantidades de agua en sus procesos. Un tercer uso principal del agua en la industria consiste en la generación de energía eléctrica, en la que una parte del agua se transforma en vapor; pero las necesidades principales de agua consisten en el enfriamiento por condensación.

Aproximadamente desde 1945 la gente ha pensado seriamente en las cantidades de agua que necesita la industria. Las fábricas individuales se amoldan a las escaseces de agua, y las grandes empresas industriales que la utilizan, tales como las plantas siderúrgicas y las fábricas de papel, se localizaban cerca de las corrientes y lagos en donde los suministros de agua parecían ser suficientes.

La Comisión Presidencial de Política de Materiales calculó un uso total industrial de 80 billones de galones diarios en 1950, y predijo que esa cantidad se elevaría a 215 billones de galones diarios en 1975. El informe señalaba que la industria consumía el 35% del total de agua que se usó en 1950, y que para 1975 las necesidades industriales aumentarían a 63% del total nacional. La diferencia en los cálculos se ha debido principalmente a que no se exigió que las 247,000 y tantas unidades manufactureras que existían en 1950 en nuestro país informaron sobre su consumo de agua. Muchas de las que actualmente rinden informes lo hacen basándose en la capacidad calculada de sus unidades de bombeo, lo que tiende a exagerar las cifras. Los informes de la utilización industrial del agua se basan generalmente en el consumo. En las grandes unidades industriales que se encuentran cerca de un lago esto puede referirse realmente al agua que se bombea, que se utiliza para enfriamiento, que se descarga en el lago y que se bombea de nuevo para utilizarse en otra parte de la misma planta. La utilización de consumo sólo comprende una pequeña parte del consumo total.

Una inspección efectuada por la Asociación Nacional de Manufactureros en 1950 descubrió que en fábricas cuyo consumo era mayor de 10 millones de galones diarios, el 54% del agua se empleaba para enfriamiento, el 32% se empleaba en los diferentes procesos, el 9% se usaba en las calderas, el 6% se destinaba a usos sanitarios y limpieza, y el 4% a operaciones no clasificadas. El total, que es más de 100%, incluye el 5% del consumo que volvía a utilizarse.

En las plantas que utilizan menos de 10 millones de galones diarios el enfriamiento comprendió el 23% del bombeo; el agua empleada en los diversos procesos, el 36%; la alimentación de calderas, el 12%; la salubridad, el 16%, y otros usos no especificados, el 3%.

Casi el 40% de las plantas registraron un segundo del agua que constituía en promedio el 24% del consumo. La industria petrolífera vuelve a usar el 98% de su consumo; las fábricas de papel y pulpa, el 52%; las fábricas de drogas y substancias químicas, el 35%, y las fábricas de aviones, automóviles, hierro y acero, el 25%.

El uso repetido del agua aumentará a medida que suben las necesidades de la nación.

Un ejemplo de conservación del agua ocurre en la planta de la Kayser Steel Corporation, en Fontana, California. En vez de un consumo de 65,000 galones por tonelada que es característico de la industria siderúrgica, la planta de Fontana sólo requiere 1,400 galones por tonelada. La planta Kayser aprovecha sus suministros de agua en una serie de 7 utilizaciones diferentes con enfriamientos subsecuentes, y el agua fluye en un trayecto de mayores temperaturas que se aplican a cada uso. Las grandes empresas siderúrgicas pueden bombear 200 ó 250 millones de galones diarios, pero la planta Kayser sólo necesita 25 millones de galones.

El agua circula dentro de la planta a razón de 144 millones de galones diarios. En realidad, los 25 millones de galones diarios representan la utilización de consumo dentro de la planta, que consiste principalmente de vaporización durante el proceso de enfriamiento o en las torres y estanques de enfriamiento.

Sheppard Powell, ingeniero industrial de Baltimore, ha dado una lista de 16 pasos, por medio de los cuales una industria puede disminuir su consumo de agua:

Instalar medidores en todos los tipos de utilización.

Disminuir la presión en los sistemas de tubería hasta el nivel más bajo posible.

Instalar controles termostáticos en los sistemas de enfriamiento.

Usar válvulas automáticas en los controles.

Inspeccionar todos los implementos sanitarios para evitar desperdicios.

Conservar limpio el equipo.

Aislar todas las tuberías de servicio, tanto de agua caliente como de agua fría.

Hacer frecuentes inspecciones para eliminar los goteos.

Utilizar líneas separadas de tubería para las diversas "clases" de agua.

Recircular el agua de enfriamiento cuantas veces sea posible.

Tratar los desechos de la condensación del agua.

Reacondicionar las aguas de desecho y de lavado.

Ajustar todos los procesos para que consuman menos agua.

Volver a utilizar el agua cuando las condiciones lo permitan.

Buscar substitutos para el agua, tales como el aire, para aspirar o hacer funcionar sifones.

Nombrar un ingeniero de control de aguas para que mantenga en vigor el programa de ahorro de agua.

La utilización de aguas recuperadas o de las descargas de las instalaciones de tratamiento de aguas negras se practica cada vez con más frecuencia en la industria, especialmente en las plantas siderúrgicas, refinerías de petróleo, ferrocarriles y plantas de procesos metálicos, como medio de obtener el agua necesaria. En la planta de Sparrows Point de la Bethlehem Steel Company, en Baltimore, Maryland, se utilizan en diversas operaciones aguas dulces, agua de mar y aguas tratadas. Aproximadamente se consumen de 35 a 50 millones de galones diarios de agua dulce, de 135 a 150 millones de galones de agua de mar, y de 50 a 100 millones de galones de agua tratada en las instalaciones de tratamiento de aguas negras de Baltimore. La planta trata las descargas con alumbre para disminuir su turbieza, y con clorina, para impedir el crecimiento de lamas y algas.

En Amarillo, Texas, fue necesario aumentar las instalaciones de tratamiento de aguas negras. La Texas Company necesitaba más agua para agrandar su re-

finería, y en 1953 se celebró un contrato con duración de 30 años por medio del cual la ciudad suministrará a la refinería aguas tratadas de calidad satisfactoria para los usos de la misma. La Texas Company convino en hacer pagos anuales a la ciudad en cantidad suficiente para amortizar el costo de las instalaciones hechas para beneficio de la empresa. La capacidad de diseño de la planta de tratamiento de aguas negras es de 4.5 millones de galones diarios. El agua recuperada se suministrará a la compañía a razón de 3.65 centavos por cada 1,000 galones. El suministro normal de la ciudad se vende en cantidades equivalentes a 13.5 centavos por 1,000 galones.

Los pagos se ajustarán anualmente basándose en los costos reales. Si se hace necesario mantener un residuo oxidante de clorina a fin de eliminar el amoníaco del agua recuperada, el costo de la compañía puede subir a 6 centavos por cada 1,000 galones. En 1954 las instalaciones municipales suministraron una descarga que contenía 14 partes por millón de amoníaco, y los estudios efectuados han indicado que se necesitan 10 partes por millón de clorina para oxidar una parte por millón de amoníaco. La nueva planta de tratamiento de aguas negras tiene una laguna con capacidad de 9 millones de galones para almacenar el agua recuperada, lo que se consideró necesario para equilibrar la proporción de flujo de las aguas negras y para igualar en un periodo aproximado de 48 horas las variaciones horarias de las características químicas del agua recuperada.

A medida que crecen la producción industrial y las poblaciones urbanas, podemos esperar que la industria intensifique sus esfuerzos para hacer economías en la utilización del agua y para aumentar el uso de aguas recuperadas.

Así como las ciudades se enfrentan al problema de eliminar los desperdicios en sus sistemas de agua y los causados por los consumidores mediante una medición completa, la industria se enfrenta a la necesidad de conservar el agua por todos los medios posibles.

HARRY E. JORDAN *ha sido secretario ejecutivo desde 1936 de la Asociación Norteamericana de Obras Hidráulicas, así como editor del Diario de la misma.*

Los suministros de agua para las casas de provincia

Harry L. Garver

LAS CASAS RURALES OBTIENEN agua de los pozos, manantiales, cisternas, lagos, estanques, arroyos y canales.

El agua de cualquiera de esas fuentes puede ser peligrosa, pero hay que ver siempre con desconfianza la que viene de fuentes superficiales, y es más seguro obtener la opinión del departamento de salubridad estatal o local antes de utilizar el agua de una fuente nueva. Antes de usar aguas superficiales hay que hacer una inspección sanitaria.

¿En dónde se puede encontrar agua subterránea? No hay respuesta precisa a esta pregunta. Los perforadores experimentados de pozos y los geólogos han adquirido ciertos conocimientos sobre el agua del suelo que a menudo los llevan a escoger una localización adecuada para un pozo.

El agua del suelo rara vez fluye en canales angostos y bien definidos como los ríos y arroyos, sino que se asemeja más bien a lagos que se filtran o gotean lentamente a través de extensas capas o estratos de arena y grava u otros materiales que llevan agua. Si un estrato que lleva agua, o acuífero, queda bajo una capa de roca sólida o de arrilla dura, puede recibir agua en alguna área que se encuentre a considerable distancia de la localización del pozo. Frecuentemente el área de suministro o cuenca de recolección del acuífero está a mayor altura que el pozo, y entonces, si el agua queda confinada bajo un estrato de roca o arcilla impermeable, puede quedar bajo presión como si estuviera confinada en un tubo en forma de U. Un agujero hecho en la parte superior del tubo en el fondo de la U hará que el agua se

precipite hacia afuera, y su fuerza depende de la carga que haya en las ramas del tubo. Puede haber o no haber presión suficiente para hacer que el agua fluya sobre el extremo superior del pozo; pero si la hay suficiente para hacer que el agua se eleve sobre su nivel normal superior, se le llama agua artesiana.

No toda el agua subterránea fluye en mantos relativamente extensos. El agua, a la que a veces se le llama solvente universal, disolverá con el tiempo la mayor parte de los sólidos. Algunas rocas y ciertos minerales se disuelven muy lentamente, pero otros se disuelven en el agua con una rapidez relativa. El agua que fluye a través de las rocas y minerales o sobre ellos, arrastra algunos de esos materiales en solución. Un ejemplo muy común es la disolución de la piedra caliza. El agua arrastra con ella parte del calcio o cal de que se compone la roca, conociéndose entonces como agua dura. A menudo la disolución de la roca ocurre en tal forma que se inician canales bien definidos, y con el tiempo, tal vez después de varios miles de años, puede formarse una era natural, siendo ejemplos de esto la Cueva Mammoth, de Kentucky, y las Cavernas de Carlsbad, en New Mexico.

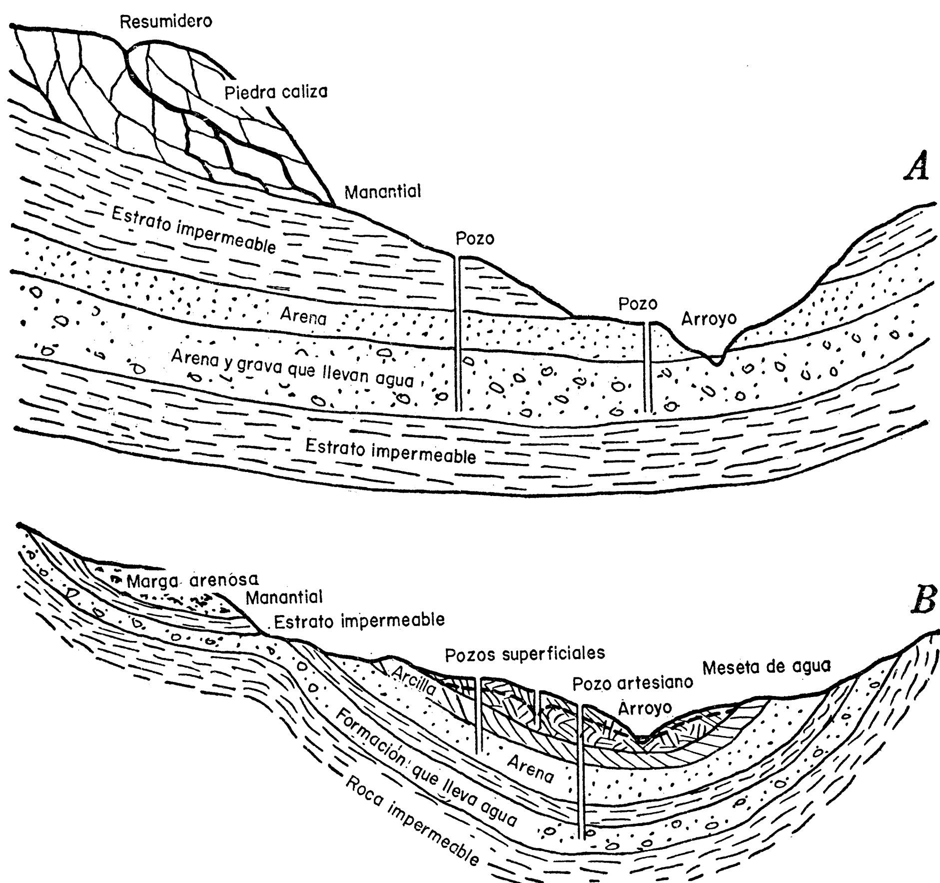
EL AGUA PUEDE PENETRAR a las cavernas a través de los intersticios de las rocas, y con el tiempo se forman resumideros. No deben echarse en esos resumideros los animales muertos, basuras y otros desechos, porque el agua que penetra en ellos puede llegar a la corriente de una caverna que tenga muy poca o ninguna filtración, oxígeno o luz del sol que la purifiquen. Probablemente es un simple accidente cuando un perforador de pozos llega a una de estas corrientes; pero si esto sucede, es probable que la utilización del pozo que penetre a ella sea peligrosa.

El agua que llega a un pozo a través de cavernas subterráneas debe verse con desconfianza. Tal vez pueda usarse sin peligro, pero hay más probabilidades de que esté contaminada que las aguas que se han filtrado a través de miles de pies de materiales de grano fino. No puede haber seguridad de que el agua de cualquier fuente nueva pueda usarse sin riesgo hasta que se haya analizado por un técnico competente. El agua puede ser pura y fría; pero esto no indica necesariamente que sea potable, es decir, que pueda usarse sin peligro para beber. No debe confundirse el agua buena con el agua pura. El agua destilada, ejemplo de agua pura, es insípida y desagradable, y la potabilidad de un agua no puede determinarse por su sabor, aspecto u olor.

Los pozos se excavan, perforan, abren o barrenan. Los pozos excavados son ordinariamente poco profundos y todos ellos necesitan protegerse cuidadosamente en su parte superior para impedir la entrada de las aguas superficiales. El agua que escurre hacia abajo a través de los primeros pies de tierra puede considerarse como agua superficial. En general, el agua que se ha filtrado a través de una distancia vertical de 10 pies de tierra compacta puede considerarse como bien filtrada.

Los pozos que se taladran son ordinariamente más profundos, y frecuentemente se extienden a través de la roca sólida o de estratos de materiales duros prácticamente impermeables al agua. Los pozos que se perforan se revisten ordinariamente hasta los estratos impermeables, y es más probable que produzcan aguas inofensivas que los pozos poco profundos. Los pozos barrenados se encuentran ordinariamente en la misma clase que los perforados, y los pozos que se abren, como los excavados, ordinariamente son poco profundos.

Casi cualquier fuente de agua puede quedar contaminada debido a inundaciones u otros accidentes. Los descuidos durante las reparaciones pueden causar la contaminación del agua, y se recomienda desinfectar todos los suministros de agua de desorrollo reciente. Es una buena idea desinfectar el sistema de agua después de que se han hecho reparaciones o extensiones, especialmente si han sido muy extensas, lo que puede hacerse clorinando el agua. Los funcionarios locales de salubridad pueden precisar la cantidad de clorina que hay que usar.

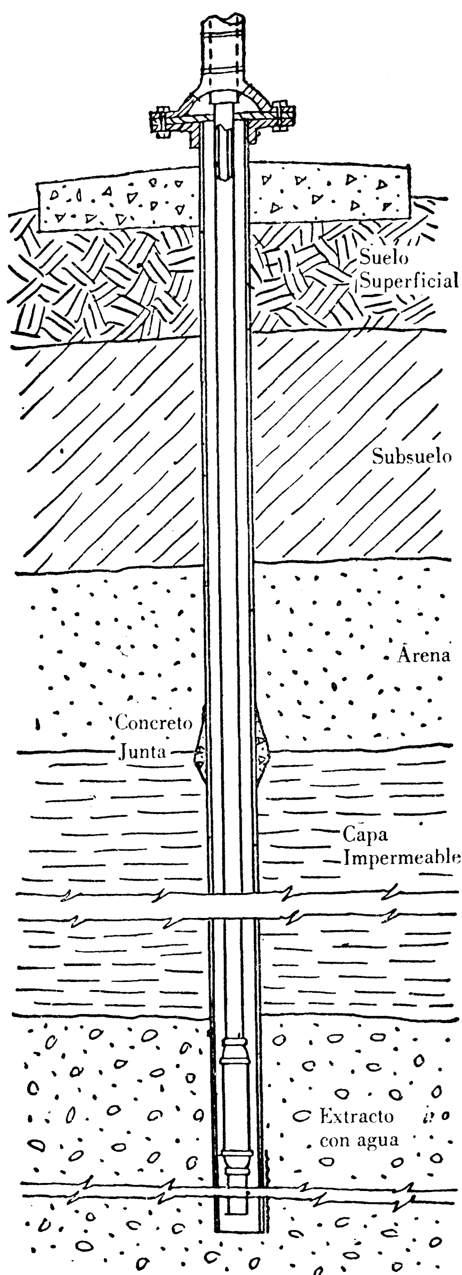


Estratos de tierra mostrando las formaciones que llevan agua. Se han acortado y exagerado las distancias horizontales. *A.* Se muestra un resumidero como posible fuente de contaminación del agua que se mueve a través de las fracturas de roca. *B.* Estratos de tierra mostrando las posibles fuentes de aguas buenas.

El agua puede desinfectarse añádiéndole clorina en cantidades suficientes para oxidar toda la materia orgánica, y se llama residuo a la clorina que queda después de que esto sucede. Una pequeña cantidad de residuos de clorina es inofensiva y constituye una indicación de que el agua puede utilizarse sin peligro por lo menos en lo que concierne a las bacterias. Generalmente, se considera satisfactorio hasta 0.5 de parte por millón de residuos libres de clorina. Los fabricantes de substancias químicas y equipos de laboratorio tienen instrumentos para comprobar los residuos de clorina. El agua puede volverse inofensiva si se hierve durante 5 minutos.

Ordinariamente 2 gotas de tintura de yodo al 7%, revueltas en un cuarto de galón de agua clara que se deja reposar durante media hora, la harán adecuada para beber.

Cuando se sabe o se sospecha alguna contaminación, es conveniente consultar al funcionario de salubridad pública sobre ella. El rendimiento de un pozo no es necesariamente proporcional, ya sea a su profundidad o a su tamaño. El pozo debe extenderse hasta la formación que lleva agua, a fin de que pueda recibirle dependiendo la profundidad de la naturaleza de la formación. La arena gruesa y la grava dejarán que el agua se mueva libremente, pero la arcilla y las rocas re-



Pozo perforado a través de varias capas de tierra y roca o estratos hasta llegar a las gravas y arenas que llevan agua. Se muestra el sello en la parte superior de la capa impermeable, así como la plataforma de concreto en la parte superior del pozo y el método de conectar la bomba a la tubería de revestimiento.

trasan el flujo del agua y, por lo tanto, el pozo debe penetrar a través de ellas para obtener un flujo igual. Dos pozos situados a corta distancia uno de otro no producirán doble cantidad de agua que la que se obtenga de uno de ellos, y la influencia de un pozo sobre otro puede extenderse a distancias considerables. El diámetro del pozo no tiene importancia por lo que hace a su rendimiento, aunque debe ser lo suficientemente grande para permitir la instalación del tipo de bomba que vaya a usarse.

Los manantiales ocurren en sitios en que el agua del suelo llega a la superficie. El agua de los manantiales puede ser inofensiva o peligrosa, dependiendo de las fuentes de donde se surta, del material a través del cual fluya y de cómo se trate el agua en el sitio donde brota.

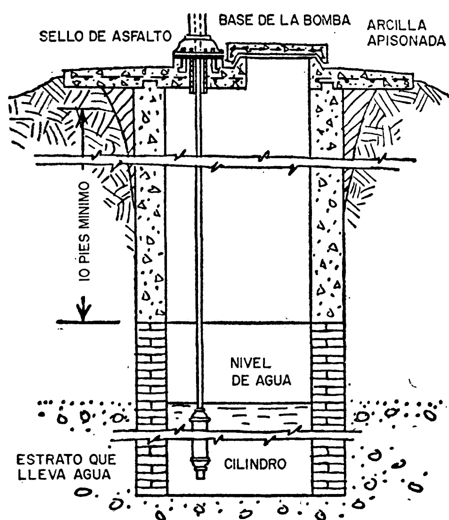
El sabor del agua se debe a las sales minerales y otros ingredientes disueltos en ella. Si la substancia contenida en el agua es perjudicial, se dice que está contaminada.

Se llama agua dura a la que contiene sales de calcio y de magnesio, pudiendo apreciarse el grado de dureza por la cantidad de solución de jabón neutro que se necesita para producir una espuma permanente en un determinado volumen de agua cuando se mezclan. El resultado se expresa en partes por millón o en granos por galón de los Estados Unidos de Norteamérica. Un grano por galón equivale, aproximadamente, a 17.1 partes por millón.

La dureza total del agua natural puede deberse a los bicarbonatos o sulfatos, cloruros o nitratos de calcio, magnesio, hierro u otros minerales. A menudo se llama temporal a la dureza causada por los carbonatos que pueden removerse hirviendo el agua, y que dejan un depósito insoluble en las paredes de las calderas, calentadores de agua o teteras, y que empañan la superficie de los utensilios de vidrio.

A menudo se llama permanente a la dureza que no se debe a los carbonatos. Se considera agua suave a la que tiene una dureza de 15 a 50 partes por millón; me-

En el apéndice al final de este volumen se dan algunos dibujos de otros tipos y usos de bombas.



Pozo excavado debidamente construido, con sus lados sellados hacia abajo por lo menos a 10 pies de distancia del nivel original del suelo.

dianamente dura a la que tiene de 50 a 100 partes por millón, y dura a la que tiene de 100 a 200 partes por millón. El agua dura puede emplearse satisfactoriamente en los riegos, mientras que el agua con menos de 50 partes por millón es preferible para usos domésticos. El agua demasiado suave, aunque buena para usarse en el lavado de ropa y de trastos y para el baño, puede corroer las tuberías de agua.

Dos métodos de suavizar el agua para uso común son el proceso de cal y sosa, y el proceso de zeolita o de intercambio da cationes. El proceso de cal y sosa se usa principalmente para tratar grandes cantidades de agua para ciudades y fábricas, y el de intercambio de cationes se usa más comúnmente para suavizar los suministros familiares e individuales. El proceso consiste en un intercambio de bases en el que a medida que el agua pasa a través del suavizante, el calcio y el magnesio se cambian en sodio.

La zeolita debe reactivarse después de que ha absorbido la mayor cantidad posible de calcio y magnesio. Esa reactivación se lleva a cabo haciendo pasar una solución de cloruro de sodio (sal de roca a través del suavizante, lavándolo luego con agua limpia. Las zeolitas pueden ser arenas verdes naturales o sintéticas. Ordinariamente, las zeolitas sintéticas son capaces de remover de 2 a 2.5 veces más de granos de dureza que las zeolitas sintéticas. Se tendrá una idea de la cantidad da agua que puede suavizarse entre cada regeneración si se considera que un pie cúbico de zeolita sintética removiera de 5,000 a 8,000 granos de calcio.

No siempre es de desearse que el agua esté completamente libre de minerales que la hacen dura, porque el agua demasiado suave puede ser corrosiva, especialmente si su valor de pH es muy bajo. En esos casos puede ser aconsejable neutralizar la acción del suavizante con una poca de agua sin tratar para disminuir la corrosión. Puede usarse también el cobre u otros materiales no ferrosos después del suavizante. A veces el suavizar sólo el agua que se usa para el lavado de ropa, de trastos y para los baños, es una buena medida económica.

El agua sumamente alcalina deja ordinariamente una incrustación en los coladores de pozos, tuberías y calderas. El agua ácida es corrosiva y un análisis mostrará el valor del pH del agua. Un valor de pH 7 indica agua neutra, y los valores superiores a pH 7 indican aguas alcalinas. Los valores inferiores a pH 7 indican condiciones ácidas. La causa principal de acidez o bajo pH es el bióxido de carbono (CO_2), que es soluble en el agua y forma ácido carbónico. El agua buena debe ser casi neutra, ni ácida ni alcalina.

EL HIERRO ES UNO DE LOS ELEMENTOS transportados por el agua que causa más dificultades. Se disuelve fácilmente en aguas ácidas y se transporta en forma de bicarbonato, ocurriendo a veces como sulfato, y es muy corrosivo.

El fierro tranportado en el agua puede eliminarse haciendo que desaparezca la condición ácida del agua y filtrándola. La acidez puede removerse por medio de la ventilación y ésta puede ser muy sencilla. El agua puede bombearse a través de un sistema de aspersión o dejarse caer en una torre de enfriamiento que tenga numerosos deflectores. El agua debe descomponerse en pequeñas gotas, a fin de

que presente al aire una superficie máxima. Si se pasa el agua a través de piedra caliza triturada se removerá una gran parte del bióxido de carbono que mantiene el hierro en suspensión. El hierro en el agua se oxidará después de que se corrija su condición ácida, y si se pasa el agua a través de un filtro de capas de arena fina, se removerá el óxido de hierro. Las capas de arena deben instalarse en tal forma que permitan la inversión del flujo para lavarlas, así como su reposición cuando sea necesario. En la forma en que el hierro se encuentra normalmente en el agua subterránea no constituye un riesgo para la salud.

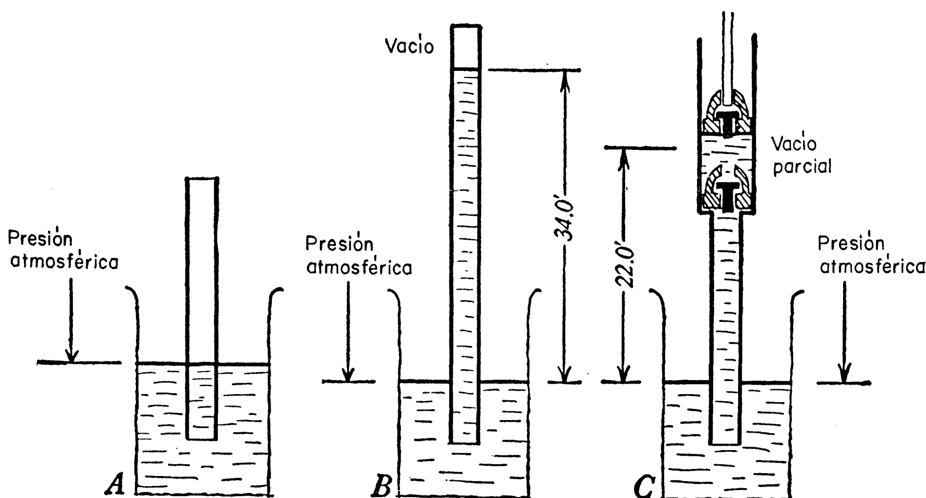
Hay aparatos especiales de zeolita para remover el hierro, que funcionan bajo el mismo principio que los suavizadores, pero que se reactivan pasando una solución de permanganato de sodio a través de la zeolita.

A veces se remueve el hierro mediante tratamientos con clorina.

LAS FAMILIAS QUE PUEDEN TENER agua corriente en sus hogares por medio de un sistema de gravedad pueden considerarse afortunadas. La mayor parte de las casas que tienen sistemas individuales de agua deben usar bombas, y esas bombas domésticas se diseñan ya sea para pozos profundos o superficiales, pudiendo ser de cualquier tipo o de una combinación de ellos, recíprocas, rotatorias, centrífugas y de turbina. Los cuatro tipos pueden funcionar con motores, pero sólo los tipos recíprocos y rotatorios pueden moverse a mano. Hay otros tipos de cadena o canjilones, de succión de aire, etc., pero actualmente sólo se emplean los cuatro tipos básicos ya mencionados.

Las bombas de inyector consisten esencialmente de una bomba centrífuga que se coloca en la parte superior del pozo y de un inyector que se coloca cerca de la superficie del agua. El inyector depende de la presión para suministrar una carga de velocidad a través de su tobera. Cuando la cámara en donde se coloca la tobera tiene la forma adecuada, se crea un vacío que se llena con agua del pozo, y esa agua, juntamente con la que sale por la tobera, se eleva hasta la bomba centrífuga o hasta muy cerca de ella. La mayoría del agua se almacena en un tanque de presión, pero parte de ella debe devolverse al inyector para que siga funcionando.

La carga de succión debe considerarse como parte de la carga total. La bomba



Carga de succión producida por la presión atmosférica. A. Cuando la presión exterior e interior son iguales, no hay carga ni elevación dentro del tubo. B. Carga de succión cuando hay un vacío completo dentro del tubo (teóricamente). C. Carga de succión de la bomba cuando hay un vacío parcial dentro del tubo.

crea o procura crear un vacío, y la presión de la atmósfera en la superficie del agua fuera de la bomba, fuerza el agua hacia arriba dentro de ésta para llenar el vacío. Al nivel del mar, la presión atmosférica normal forzará el agua a una altura aproximada de 34 pies hasta la bomba. Sin embargo, la carga práctica de succión sólo es un poco mayor de 22 pies al nivel del mar, y esta cifra de 22 pies debe usarse para determinar si se necesitan bombas de pozo profundo o superficial. Si la superficie del agua en el pozo queda a una distancia de 22 pies bajo la bomba, debe emplearse una bomba de pozo profundo, y a medida que la presión atmosférica disminuye con el aumento de altura, se necesitan bombas de pozo profundo para elevar el agua de pozos cuya superficie quede a menos de 22 pies debajo de la bomba, si los pozos se localizan a alturas elevadas. Una regla práctica consiste en deducir un pie de carga práctica de succión por cada 1,000 pies de alturas elevadas. Una regla práctica consiste en deducir un pie de carga práctica de succión por cada 1,000 pies de altura del pozo sobre el nivel del mar. La carga de succión es la distancia a que queda la bomba sobre la superficie del agua en el pozo (el cilindro, si se trata de bombas recíprocas, o la caja y la descarga, si se trata de bombas centrífugas). Para determinar la carga de succión debe tomarse el nivel de agua más bajo en el pozo, y si la carga de la bomba es mayor de 22 pies sobre la superficie del agua, debe usarse una bomba de pozo profundo.

CADA BOMBA TIENE CIERTAS VENTAJAS cuando se usa para el tipo de bombeo para el que fue diseñada. Las bombas recíprocas son de desplazamiento positivo, es decir, que el espacio que se encuentra detrás del pistón o válvula se llena de agua durante su carrera hacia arriba, reteniéndose allí por medio de una válvula de retención durante el retorno del pistón o émbolo si el mismo tiene válvula. Si el pistón es sólido, el agua se forzará hacia arriba o hacia afuera mediante una segunda válvula de retención, en donde quedará hasta que la carrera siguiente la fuerce todavía más lejos. Ambas válvulas se abren en el mismo sentido, y si el espacio del cilindro que queda vacío por el movimiento del pistón puede contener una pinta de agua, se entregará una pinta en cada carrera del pistón. En una bomba de doble acción se emplean dos juegos de válvulas y los dos extremos del cilindro, entregándose aproximadamente 2 pintas en cada revolución completa de la manivela. El tiempo requerido para completar una revolución de la manivela no es crítico, y a esto se debe que las bombas recíprocas trabajen satisfactoriamente cuando se mueven a mano o por medio de molinos de viento que a menudo varían de velocidad.

ESTA CLASIFICACIÓN INCLUYE un gran número de bombas, tales como las de jarra, las de presión movidas a mano, las recíprocas de pozo profundo o superficial movidas con motor, y las de diafragma. Las bombas de desplazamiento positivo no funcionarán o se romperá alguna de sus partes si se trata de hacerlas funcionar cuando el sistema está lleno de agua y cerrado.

Las bombas centrífugas y de turbina no son de desplazamiento positivo y están diseñadas para funcionar a velocidades específicas, especialmente las centrífugas, siendo muy susceptibles a los cambios de velocidad. Pueden funcionar con las válvulas de descarga cerradas parcialmente, pudiendo calentar el agua y dañarse si se trata de que funcionen totalmente cerradas.

Las bombas centrífugas son especialmente adaptables cuando tienen que funcionar continuamente con una carga de succión baja y hay que manejar grandes cantidades de agua. Las bombas recíprocas son muy satisfactorias cuando se bombean pequeñas cantidades de agua, cuando el funcionamiento es intermitente y la velocidad es variable.

LAS BOMBAS DE POZOS SUPERFICIALES no necesitan colocarse directamente sobre el pozo o cisterna, pero los tubos que van del agua a la bomba deben subir verticalmente o inclinarse hacia arriba hasta la bomba. Las cabezas de las bombas de pozo profundo de tipo recíproco deben

colocarse directamente sobre el pozo, porque requieren árboles o flechas rectos para hacer funcionar el émbolo. Las bombas de inyector o de tipo de chorro pueden colocarse a cierta distancia del pozo, ya sea profundo o superficial, y el tubo de succión puede ser vertical o inclinarse hacia arriba en todo su trayecto hasta la cabeza de la bomba.

Las bombas sumergibles, que están ampliamente distribuidas, consisten de una combinación de motor y bomba centrífuga de etapas múltiples que se sumerge en el pozo hasta quedar bajo el nivel de abatimiento del agua.

NO SE RECOMIENDAN LAS CUENCAS de bombeo sobre los pozos debido a las dificultades que causan los malos desagües, y porque constituyen una fuente de contaminación si no se desaguan eficazmente. La humedad puede dañar los motores y hacer peligroso el sitio cuando los circuitos eléctricos tienen corriente. La bomba, el tanque de almacenamiento o de presión y toda la tubería y accesorios deben colocarse en casetas a prueba de heladas, en los sitios en donde éstas ocurren con frecuencia, lo que puede hacer necesaria una caseta de bombas bien aislada. Una caseta de este tipo puede calentarse suficientemente para evitar la congelación, por medio de una lámpara eléctrica de 100 ó 200 vatios colocada cerca de la bomba.

EL AGUA PUEDE ENVIARSE a toda la granja por medio de una línea principal, de la cual salen extensiones laterales a cada edificio. La tubería de cualquier clase debe colocarse más abajo de la profundidad de congelación, y se necesita mayor cuidado al rellenar las trincheras cuando se usa tubería plástica o de cobre que cuando se usa tubería de fierro. Se están usando tubos plásticos en forma limitada en los sistemas de distribución de agua fría en los edificios, no recomendándose su uso con agua caliente.

Las prácticas de plomería en las habitaciones rurales no difieren gran cosa de las empleadas en las habitaciones urbanas; pero en todas ellas, así como en los sistemas de suministro de aguas, deben observarse algunos principios básicos:

Debe suministrarse agua en cantidad suficiente y a la presión adecuada a todos los implementos para que funcionen debidamente.

Los implementos para calentar agua deben instalarse y equiparse en tal forma que no presenten peligro de explosión.

Deben evitarse las interconexiones con otros sistemas de agua, especialmente si hay probabilidad de contaminaciones.

Las conexiones de los implementos deben hacerse en tal forma que no pueda ocurrir una acción de sifón inversa.

Deben usarse tubos de tamaño sufi-

TABLA DE SELECCION DE TAMAÑOS DE TUBERIA

Capacidad de la bomba en galones por hora
Longitud de la tubería
50' o más, 75', 100', 150', 200', 300', 400', 500', 600', 700', 800', 900', 1000'
100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, 425, 450, 475, 500, 525, 550, 575, 600, 625, 650
tubería de 1/2"
tubería de 3/4"
tubería de 1"
tubería de 1 1/4"
tubería de 1 1/2"
tubería de 2"

ciente para que las pérdidas de presión se mantengan a un mínimo económico.

El tamaño de las tuberías para los diferentes edificios se determina por su longitud y la cantidad de agua requerida. Ordinariamente se emplean tubos de tres cuartos de pulgada a una pulgada. Comúnmente la distribución dentro de los edificios de una granja es muy sencilla y los tramos son cortos. El tamaño que se recomienda para los tubos que van del sistema de distribución a los implementos individuales, y que se conocen como tubos de suministro de implementos, es de media pulgada para todos ellos, a excepción de los lavabos y sanitarios, en los que pueden usarse tubos de tres octavos de pulgada.

Supongamos que una bomba tiene una capacidad de 350 galones por hora y que hay 200 pies de tubería del tanque de almacenamiento de agua al granero. En la tabla para la selección del tamaño de tubos que se da al final de este capítulo, aproximadamente a la mitad de la columna de la izquierda titulada "Capacidad de la bomba en galones por hora", se hallará la cifra 350. Sígase esa línea a través de la tabla hasta que se llegue a la columna que se encuentra abajo de 200 pies, y se notará que se está en una parte de la tabla que tiene el título "Tubería de 1". Esto significa que el tubo de una pulgada es el tamaño correcto.

Al planear cualquier suministro de agua es sumamente importante contar con la cantidad adecuada. Se sugieren las siguientes cantidades en galones diarios como valores que pueden usarse para determinar las necesidades requeridas: Para cada miembro de la familia, 50 galones; para cada vaca lechera, 40 galones; para cada res de engorda, 12 galones; para cada cerdo, 4 galones; para cada carnero, 2 galones para cada 100 pollos, 10 galones y para cada 100 pavos, 5 galones.

La bomba debe ser de un tamaño suficiente para que pueda suministrar las necesidades diarias de 2 ó 3 horas de bombeo al día, si el rendimiento del pozo es suficiente para esa proporción. Si no es así, el tamaño de la bomba debe corresponder a la proporción de suministro de agua del pozo.

Ordinariamente deben hacerse provisiones para almacenar cierta cantidad de agua, y hay tres maneras de hacerlo: Puede excavarse o barrenarse un pozo lo suficientemente grande para proporcionar la capacidad necesaria de almacenamiento; puede instalarse un tanque elevado, o puede colocarse un tanque neumático en el sistema.

Cuando se emplea un pozo para almacenamiento, la bomba debe funcionar cada vez que se consume agua. El tanque elevado requiere frecuentemente grandes tramos de tubería o cimientos bastante costosos. Este tipo de almacenamiento se presta fácilmente para la protección contra incendios. El tipo de tanque neumático de presión tiene capacidad limitada, pero se instala fácilmente en el sistema de agua.

Los siguientes detalles darán idea del tamaño de los tanques de presión que puedan necesitarse: Para una temperatura dada, la presión del aire es inversamente proporcional al espacio que se le fuerza a ocupar. Por lo tanto, si se bombea agua en un tanque lleno de aire a presión atmosférica (14.7 libras al nivel del mar) hasta los seis décimos de su capacidad, el manómetro registrará aproximadamente 22 libras. Cuando el manómetro registre 41 libras, el tanque estará lleno hasta sus tres cuartas partes, y si se ajusta el control de presión para que la bomba comience a funcionar a 20 libras y se detenga a 40 libras, sólo puede consumirse el 15% de la capacidad total del tanque sin que la bomba comience a funcionar de nuevo. Si el tanque se llena con una presión inicial, puede consumirse una cantidad de agua un poco mayor entre los mismos límites de presión.

Los sistemas individuales de agua rara vez manejan cantidades suficientes para que sean de gran valor para combatir un incendio fuerte, pero cualquiera de ellos puede ser útil para extinguir un incendio en sus etapas iniciales. Si se considera necesario el control de incendios, es conveniente contar con uno o más depósitos debidamente protegidos, o cisternas

localizadas estratégicamente en la granja. Las bombas de incendio pueden manejar hasta 500 galones por minuto, y en esa proporción los depósitos tendrían que contener 7,500 galones para permitir que las bombas funcionaran durante 15 minutos. Las toberas rociadoras requieren mucho menos agua, y probablemente la mejor solución al problema del tamaño y localización de los depósitos de almacenamiento de agua para protección contra incendios puede obtenerse consultando directamente al jefe del departamento de bomberos de la localidad.

Un depósito con capacidad de 7,500 galones debe tener 10 pies por 10 pies, por 11 ó 12 pies de profundidad, si es cuadrado, y si es redondo, debe tener 13 pies de diámetro y 13 pies de profundidad. El depósito debe estar cubierto como medida de seguridad y también para evitar que se convierta en un sitio de procreación de los mosquitos. Una cubierta ligera a prueba de luz evitará la formación de algas.

HARRY L. GARVER *se unió al Departamento de Agricultura en 1938 y ha desempeñado varios puestos relacionados con ingeniería agrícola.*

La disposición sin riesgos de las aguas negras en las casas rurales

Harry L. Garver.

UN SISTEMA ADECUADO de disposición de aguas negras de una casa-habitación consiste por lo menos de dos partes: la instalación de plomería dentro de ella y el sistema de desagüe fuera de la casa.

En la familia normal, la selección de implementos sanitarios es hasta cierto punto cuestión de preferencia personal. Esos implementos pueden ser de color que armonicen con los de una habitación, y el espacio que ocupen determinará hasta cierto punto su tamaño y forma, debiendo fijarse de modo adecuado. Una tina de baño vacía pesa de 300 a 500 libras, y 20 galones de agua añadirán otras 175 libras al peso. Cuando una persona grande entra a una tina se aplica una carga bastante concentrada en los polines del piso, y debe considerarse ese peso al diseñar la casa. Todos los implementos sanitarios deben colocarse tan nivelados como sea posible. Las llaves de agua deben instalarse en tal forma que sus aberturas queden por lo menos a 1.5 pulgadas arriba del borde sobre el que se derrama el contenido cuando se desborda el implemento. Todos los implementos sanitarios deben dotarse de trampas que pueden ser parte integrante de los mismos o colocarse en sus desagües. Su objeto es evitar el libre flujo de los gases de los albañales o fosas sépticas. El agua que fluye en una tubería tiende a arrastrar aire consigo, y ese fenómeno vaciaría el agua de la trampa si no hubiera otro camino para que penetrara el aire. Además, si la presión de los gases en el sistema de albañales se vuelve lo suficientemente elevada, podrían escaparse a través del agua de las trampas. Para impedir que el aire o los gases rompan el sello de las trampas, debe haber un tubo de ventilación que se conecte al desagüe a corta distancia de la trampa en el lado de desagüe. Un solo tubo de ventilación puede dar servicio a las trampas de un grupo de implementos si se encuentran cerca de la ventilación de tierra o chimenea, a 30 pulgadas si el desagüe de los implementos es de 1.25 de pulgada de diámetro, a 42 pulgadas si el desagüe es de 1.5 pulgadas, a 5 pies para un desagüe de 2 pulgadas y a 10 pies para un desagüe de 4 pulgadas.

Ordinariamente la tubería de tierra se continúa hacia arriba a través del techo del edificio. La parte que queda más arriba del desagüe horizontal más elevado se conoce como chimenea de ventilación. Los implementos que están demasiado lejos de la tubería de tierra para que se ventilen debidamente, requieren tubos de ventilación individuales que se conectan a la chimenea de ventilación, y esas conexiones se llaman gazas de ventilación.

Ordinariamente se especifica tubería de fierro vaciado para utilizarse bajo un piso de concreto y a través de los muros de cimientos. Fuera de éstos puede usarse

cualquier material aceptado por el código o autoridades locales en donde existan, y a menudo se usan tubos de barro, de fibra embetunada y otros materiales.

Si la comunidad cuenta con albañales sanitarios que dispongan de las aguas negras de las habitaciones, el tubo de desagüe de cada habitación debe descargar en ellos; pero la mayoría de las habitaciones rurales y de granjas no son tan afortunadas. En ese caso se recomienda el uso de una fosa séptica como medio de disposición de las aguas negras. El tubo de desagüe hasta la fosa séptica debe tener un declive de un cuarto de pulgada por pie, y ordinariamente se recomienda tubería de 4 pulgadas de diámetro. La fosa séptica puede ser de acero, mampostería o concreto monolítico, pero independientemente del material debe ser hermética.

El tamaño de una fosa séptica debe basarse en el número probable de personas que la utilicen. Como las familias cambian y las propiedades se compran y venden, es difícil un diseño que se base en el número de personas, por lo que su tamaño se basa ordinariamente en el número de dormitorios, recomendándose que la fosa tenga una capacidad de líquido por lo menos de 500 galones.

La capacidad de líquido se mide abajo de la parte inferior del tubo de descarga, que generalmente se encuentra de 12 a 15 pulgadas abajo de la parte superior de la fosa. Las dimensiones internas recomendadas ordinariamente se dan en la tabla que aparece al final de este capítulo. Los trituradores de desperdicios alimenticios aumentan tanto la cantidad de líquidos como de sólidos que entran a la fosa, y esa cantidad depende grandemente de los hábitos de la familia. Para asegurar la suficiente capacidad de cienos se recomienda aumentar en 50% la capacidad de la fosa sobre la que se da en la tabla relativa. Si ya existe la fosa cuando se instale el triturador, será necesario inspeccionarla y tal vez limpiarla más a menudo.

No es necesario que las fosas sépticas sean rectangulares si se diseñan en tal forma que la entrada de aguas negras no revuelva considerablemente su contenido. Las pruebas efectuadas parecen indicar una eficiencia un poco mayor en las fosas que tienen menos profundidad de líquido y mayor área superficial. Las cuestiones de espacio y costo son factores que determinan las dimensiones de las fosas.

Ordinariamente no hay necesidad de añadir levaduras, enzimas u otros iniciadores a las fosas nuevas o viejas, ya que las mismas aguas negras contienen las bacterias necesarias para la digestión de los sólidos. Si por cualquier circunstancia se cree que una fosa nueva no funciona debidamente, puede corregirse añadiendo unos cuantos galones de cienos de otra fosa que se sepa que funciona satisfactoriamente.

La fosa séptica debe inspeccionarse y limpiarse periódicamente según se requiera. Hay en el mercado cierto número de productos de patente que se supone que disuelven los sólidos de las fosas sépticas; pero ninguno de los que han sido probados por el Servicio de Salubridad Pública suple a un buen bombeo ocasional, y algunos de ellos pueden ser perjudiciales para el debido funcionamiento de la fosa y de su campo de disposición.

Cuando se inspeccione una fosa séptica no deben usarse cerillos o llamas descubiertas, porque los gases producidos por

			Dimensiones Recomendadas							
			Ancho		*Largo*		*Profundidad de líquido*		*Total*	
de dormitorios	*Máximo de personas atendidas*	*Capacidad líquida de la fosa en galones*	*Pies*	*Pulg.*	*Pies*	*Pulg.*	*Pies*	*Pulg.*	*Pies*	*Pulg.*
2 ó menos	4	500	3	0	6	0	4	0	5	0
3	6	600	3	0	7	0	4	0	5	0
4	8	750	3	6	7	6	4	0	5	0
5	10	900	3	6	8	6	4	6	5	6
6	12	1,100	4	0	8	6	4	6	5	6
7	14	1,300	4	0	10	0	4	6	5	6
8	16	1,500	4	6	10	0	4	6	5	6

las aguas negras en descomposición pueden explotar.

Las fosas deben limpiarse cuando los cienos e impurezas ocupan de la tercera parte a la mitad de su capacidad de líquido. Las inspecciones anuales pueden evitar daños serios y gastos en el sistema de albañales. La cantidad de acumulación puede determinarse como sigue: Fíjese un trozo de toalla a una tira de madera y suméjase a través del agujero de inspección hasta el fondo de la fosa dándole una o dos vueltas y dejándola unos cuantos minutos. La cantidad de cienos que se adhieran a la tela dará una idea bastante aceptable del total de acumulación.

Los detergentes sintéticos no parecen interferir con el funcionamiento de una fosa séptica si se usan en cantidades ordinarias, si la fosa es tan grande como se recomienda en la tabla y si tiene una conexión de entrada en T o deflector apropiado a fin de evitar hasta donde sea posible que se crucen disturbios en los depósitos.

El uso moderado de solventes de desagües, agentes limpiadores suaves y soluciones desinfectantes no afectará adversamente el funcionamiento de la fosa después que haya estado en servicio por un tiempo suficiente para que se acumule una pequeña cantidad de cienos.

Las fosas sépticas no destruyen las bacterias y debe tenerse cuidado en la disposición de los cienos, impurezas y descargas. Los materiales que se extraigan de la fosa deben llevarse lejos de la granja y enterrarse donde no puedan contaminar ningún suministro de agua.

Como la descarga de una fosa séptica contiene bacterias, algunas de las cuales pueden ser peligrosas, debe usarse un método adecuado de disposición, y la mejor forma de hacerlo es la que asegure la muerte de las bacterias por oxidación o por la acción de otros organismos.

La forma aceptada de disposición de las descargas de las fosas sépticas consiste en vaciarlas por medio de tubos de desagüe colocados en la capa superior de la tierra, abajo de la profundidad probable de cualquier apero o implemento de cultivo, es decir, a una profundidad de 18 a 30 pulgadas. Deben excavarse trincheras de 18 a 36 pulgadas de ancho con un declive de 2 a 4 pulgadas por cada 100 pies.

Debe cubrirse el fondo de la trinchera con una capa de grava gruesa y limpia o de trozos de piedra con un espesor aproximado de 6 pulgadas. El tubo de desagüe de 4 pulgadas debe colocarse sobre la grava uniendo firmemente cada tramo. La mitad superior de las uniones debe cubrirse con una tira de papel asfaltado grueso, añadiendo grava suficiente para cubrir los tubos hasta una altura aproximada de 2 pulgadas. Encima de ella debe apisonarse una capa de paja o de papel sin tratar, cubriéndola con tierra de relleno.

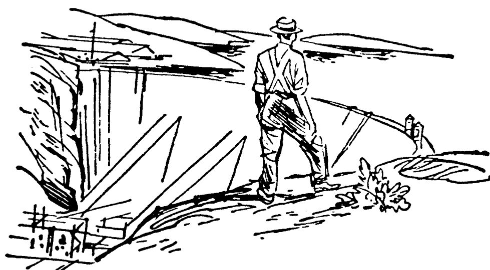
La línea de albañal de la fosa séptica al campo de disposición puede ser de tubería vidriada con uniones de campana, de tubería de ladrillo o barro cocido. La tubería debe colocarse con un declive de un octavo a un cuarto de pulgada por pie y debe descargar en una caja de distribución. Es prácticamente imposible distribuir la carga por igual en dos o más laterales por medio de Y griegas, y el tamaño de la caja de distribución dependerá del número de laterales.

La altura de las salidas tiene importancia especial. Todas las laterales deben principiar en la caja de distribución y todas tienen que estar a la misma altura.

Si las condiciones del suelo o del terreno son tales que hagan impracticable el campo de disposición, puede ser conveniente o necesario emplear una cuenca de escurrimiento. Estas cuencas deben excavarse en materiales porosos, pero no deben desaguar en cualquier estrato de tierra de donde se obtenga agua para uso doméstico o para el ganado.

HARRY L. GARVER *es ingeniero agrícola de la Sección de Estructuras de Granja de la Rama de Investigaciones sobre Ingeniería Agrícola del Servicio de Investigación Agrícola.*

Una mirada al futuro



La reglamentación y la expansión económica

C. E. Busby.

EL AGUA ESTÁ ESPECIALMENTE sujeta a reglamentación, porque es indispensable para la existencia del hombre, porque es un recurso cambiante que puede traer bienes o males a muchas personas según se emplee y maneje, y porque una parte de ella está sujeta a derechos de utilización públicos o privados ya establecidos.

Mientras más valiosa es el agua ocurren mayores conflictos de intereses sobre su utilización y manejo. Esos conflictos pueden causar inseguridad en las inversiones e impedir o desequilibrar el crecimiento económico si no se promulgan leyes básicas que aseguren la protección de esos derechos y una distribución equitativa de los suministros para satisfacer esos mismos derechos.

El agua es un denominador común de las actividades humanas. Para proteger los intereses de los usuarios actuales y potenciales de ella, los gobiernos estatales han proporcionado guías para alentar la distribución equitativa de los suministros, la reducción de los desperdicios y daños y la conservación del agua.

Todos los usuarios del agua dependen en una u otra forma de las mismas fuentes de suministro. Algunos de ellos necesitan almacenamientos superficiales o subterráneos para ayudar a equilibrar los suministros y la demanda durante horas, días, meses o años. El suministro en una área puede ser indispensable para equilibrar la demanda en otra.

Sin embargo, el agua constituye una preocupación especial, tanto de los respectivos estados como de los usuarios privados. Cuando los habitantes de cada uno de los estados originales obtuvieron su independencia, se hicieron soberanos y adquirieron todos los derechos y responsabilidades que antiguamente pertenecían a la Corona y al Parlamento de Inglaterra, y es por ello que muchos derechos gubernamentales sobre el agua radican en los estados, aun cuando la Constitución Federal conceda facultades de reglamentación a los Estados Unidos de Norteamérica sobre el comercio interestatal que se efectúa en las vías de agua.

Es obvio, por tanto, que la cooperación y el buen gobierno son aspectos esenciales del desarrollo y uso local del agua.

Aunque todos los estados y territorios han adoptado leyes para la conservación de tierras, hasta 1955 sólo los 17 estados del Oeste habían adoptado leyes comprensivas para la conservación de las corrientes superficiales definidas. Catorce estados, la mayor parte de ellos en el Oeste, tenían leyes razonablemente eficaces relacionadas con el agua del suelo.

Ocho estados del Este habían adoptado leyes preliminares de conservación para la utilización de corrientes superficiales. Nueve estados del Este tenían leyes para el control de agua del suelo que eran

parcialmente eficaces, y un buen número de estados, la mayor parte de ellos en el Sur, no tenían leyes realmente adecuadas para la conservación de las aguas, excepto las establecidas por las leyes de conservación de tierras en relación con la difusión de aguas superficiales causada por la precipitación.

Nuestro sistema actual de leyes hidráulicas estatales tuvo su origen en dos fuentes principales.

La primera es la ley común que en gran parte se debe a los jueces, y la otra es la ley estatutaria que es consecuencia de las asambleas legislativas. Ocurre cierta mezcla, porque se han incorporado en la ley común algunos principios estatutarios, y viceversa.

La ley común se desenvolvió lentamente para resolver los pequeños problemas que se presentaban ante los tribunales, a la luz de situaciones anteriores; pero a menudo el pensamiento que había en el fondo de la ley común quedaba limitado por reglas de precedentes, sin que se diera consideración adecuada a los principios de las ciencias físicas o a las futuras necesidades de los habitantes, y es por ello que algunas de las resoluciones de la ley común son meros expedientes más bien que guías para el futuro. Algunas se han vuelto relativamente inflexibles y están mal adaptadas a nuestras condiciones de rápidos cambios económicos.

En contraste, las leyes hidráulicas estatutarias promulgadas por los cuerpos legislativos evolucionaron mucho más rápidamente que las de la ley común, teniendo en cuenta tanto la opinión de los especialistas como de los profanos, y dando debida consideración a muchos problemas que entonces ocurrían o que podían preverse, incorporando también algunos principios básicos de otros campos técnicos. Cambian más fácilmente bajo el influjo de las condiciones variables; pero no son perfectas, y algunas de ellas no proporcionan normas científicas que puedan ser benéficas. Otras son menos flexibles de lo que deberían ser para llenar las exigencias de una distribución eficiente dentro de las áreas principales de desagüe, y muchas otras no proveen la reservación de suministros para llenar los cambios en las necesidades sociales y económicas.

En el pasado los tribunales y algunos legisladores no nos dejaron guías flexibles y cuantitativas para usos presentes y futuros que ayudaran a resolver los problemas de escasez a medida que se presentaban. En años recientes se han hecho progresos en algunos estados y ha crecido el interés en mejores leyes hidráulicas entre las organizaciones y agencias de toda la nación, especialmente aquellas que dan servicio a los agricultores, ya que éstos son los que tienen más necesidad de esas leyes, aunque sus necesidades sean las que menos se comprenden.

NUESTROS SISTEMAS ACTUALES de leyes hidráulicas estatales se clasifican aquí de acuerdo con la ocurrencia física del agua, agua del aire, de la superficie de la tierra y dentro de ella. Puede haber derechos de propiedad para cada tipo, así como organizaciones establecidas legalmente para la administración de programas estatales o locales de desarrollo y utilización del agua. Los derechos de propiedad pueden estar relacionados con propiedades personales o reales, dependiendo de que se tome posesión del agua, como ocurre en un estanque o en una tina de baño. En relación con la tierra, el agua se considera como propiedad real hasta que se toma posesión de ella.

Hasta 1955 las únicas leyes estatales que se referían al agua del aire eran las que se promulgaron para reglamentar las lluvias artificiales. Todas ellas son principalmente de naturaleza de licencias para controlar las actividades de los operadores que hacen siembras de nubes, y esas leyes pueden extenderse de los pocos estados en que están en vigor. Algún día ocurrirá un verdadero problema, desde el punto de vista de los derechos de propiedad, si puede demostrarse que una persona haya tomado agua del aire que ordinariamente y de modo natural hubiera caído en la tierra de otra.

Hasta 1955 esos derechos no se habían discutido ante ningún tribunal de los Estados Unidos de Norteamérica, pero algunas personas creían que los terratenientes tienen derechos de propiedad so-

bre las aguas del aire. No será difícil determinar si un terrateniente o grupo de ellos tiene derecho a tomar agua de las nubes cuando se necesite en las tierras adyacentes o que caería en ellas de cualquier modo. De todas maneras, los agricultores y legisladores estatales necesitan estar alertas para proteger sus derechos.

Los derechos del agua en la superficie del suelo se relacionan con el agua de corrientes naturales y lagos bien definidos (las vías de agua naturales), y a la difusión de aguas que ordinariamente tiene su origen en la precipitación y en la fusión, de las nieves, pero que no ha llegado a las vías de agua naturales. La principal fuente de suministro de nuestros arroyos y lagos es el agua del suelo o los manantiales; pero una parte de ese suministro, especialmente en las vías de agua intermitentes, puede venir del desbordamiento de las aguas superficiales difundidas, especialmente en estaciones de fusión de las nieves y en sitios donde prevalecen las tormentas de gran intensidad o larga duración. La difusión de agua del suelo contribuye en poco al suministro de las vías de agua naturales en algunas localidades, y, por lo tanto, debe alentarse el uso completo y benéfico de las mismas en donde sea practicable hacerlo.

Nuestra ley común tiene poco que decir sobre la naturaleza y extensión de los derechos de los usuarios de la tierra para utilizar las aguas superficiales difundidas. Tal como es, la ley varía de un estado a otro, sin que exista un patrón regional claramente definido, y trata del derecho a controlar el movimiento de las aguas difundidas o a desaguar las tierras en las que se han recolectado naturalmente.

Una vieja regla establece que el usuario puede tratar las aguas como enemigo común y defenderse de ellas como le plazca, aun cuando al hacerlo dañe las tierras de su vecino que se encuentra hacia arriba. Otra vieja regla establece que el usuario de tierras más elevadas tiene derecho a que sus aguas difundidas corran hacia abajo sobre las propiedades adyacentes, sin interrupción indebida. En otras palabras, bajo la segunda regla el usuario inferior no puede defenderse de las aguas si al hacerlo perjudica las tierras más altas. Bajo cualquiera de esas reglas el usuario de la tierra no puede recolectar, concentrar o descargar indebidamente las aguas difundidas de las tierras de su vecino o sobre ellas, en cantidades o velocidades anormales que puedan causar daños graves. Probablemente la última excepción a las reglas generales es la más práctica.

Sin embargo, sabemos que los agricultores trabajan todo el tiempo con aguas difundidas en una forma u otra. Nuestros tribunales han dado numerosas resoluciones sobre los derechos de los terratenientes para usar aguas difundidas en virtud del derecho que tienen sobre sus tierras. En casi todos los casos, los problemas presentados ante los tribunales no conciernen a los derechos de uso, sino más bien a los daños causados por los cambios artificiales en el movimiento de las aguas, y nuestros cuerpos legislativos no nos han suministrado guía alguna.

Por lo tanto, parece que pueden establecerse dos amplias reglas legislativas para guiar a los usuarios a medida que hacen mayor uso de las aguas difundidas con fines benéficos:

1ª *Captura natural.* Cuando en las granjas ocurren depresiones naturales que no tienen el tamaño suficiente para que se consideren como lagos naturales bien definidos, podría parecer que el terrateniente, en virtud de sus derechos, tendría la propiedad absoluta del agua que se recolecta en esos estanques naturales. Si dos o más terratenientes poseen en conjunto uno de esos estanques en sus tierras, deberían poseer en común el suministro de agua, con ciertas provisiones para la división de las cantidades de agua basándose en la superficie cubierta por el estanque, o en otro medio igualmente equitativo. La falta de disposiciones sobre esa división puede ocasionar una competencia de ahondamiento del estanque por cada propietario que puede desear aprovechar todo el suministro que pueda reducir a posesión dentro de su propia superficie de tierra.

2ª *Captura artificial.* Cuando no existen en las granjas las depresiones naturales que se indican en el párrafo anterior, podría parecer que el terrateniente, en virtud de sus derechos, tendría la propiedad absoluta de las aguas superficiales difundidas que pueda recolectar y capturar en su propia tierra mediante la aplicación de medidas de conservación adaptadas, mientras que la utilización del agua sea necesaria para el buen uso y manejo de su propia tierra. No se permite que las aguas recolectadas en esa forma se concentren y descarguen más tarde en las tierras de un tercero con el daño consiguiente, y su uso en una o más granjas no afectará adversamente los derechos de los usuarios del agua sobre las corrientes o lagos que se encuentren abajo. Si dos o más terratenientes recolectan y capturan aguas difundidas por estos medios, deben poseer en común el suministro si se almacena en un estanque artificial o cualquier otro sistema comunal de recolección. Nuevamente serían de desearse ciertas disposiciones para la división cuantitativa de las aguas.

Se ha dado atención considerable a estos tipos de guías legislativas por algunos comités legislativos de los Estados del Oeste.

NUESTRA LEY COMÚN SOBRE VÍAS naturales de agua definidas, conocida también como ley ribereña, nos dice algo sobre la naturaleza y extensión de los derechos de utilización del agua. Estuvo en vigor en todos los estados del Este y en algunos de los 17 estados del Oeste en 1955, pero aun así deja al agricultor con muchas preguntas sin respuesta. A menudo, en último análisis, tiene que acudir a los tribunales para que un jurado determine su utilización, que puede afectar la utilización de otros cuyas tierras se encuentran en las corrientes o lagos hacia abajo o adyacentes a las suyas. En estos casos los derechos de utilización se derivan de la propiedad de las tierras; pero el terrateniente no posee el agua de las corrientes ni pertenecen tampoco a nadie. Muchos agricultores no comprenden esta situación.

El acceso al agua es el punto clave. Las tierras deben tocar en alguna forma a las corrientes o lagos, y esto puede ocurrir en los bordos o parte central de una vía de agua navegable bien definida. En algunos estados se han extendido los derechos de propiedad de la tierra por estatuto especial hasta el nivel inferior del agua en ciertas vías navegables, y en algunos casos hasta la línea de navegabilidad.

Los que no posean tierras que toquen las extensiones de agua como se detalla anteriormente, no tienen derecho a utilizar esas aguas. Entre ellos pueden contarse los propietarios de tierras que en algún tiempo comprendían parte de las concesiones originales de tierras concedidas por un estado, que tuvieron derechos ribereños por cierto tiempo y que más tarde fueron vendidas o se dispuso de ellas en cualquiera otra forma sin reservar expresamente los derechos a la utilización del agua en las escrituras relativas u otros instrumentos legales. Pueden incluir tierras que volvieron a comprarse más tarde por el propietario original o por sus sucesores, y una vez que la tierra queda completamente separada por medios legales del acceso a la extensión de agua, nunca puede recuperar, bajo la ley común, los derechos de agua en la vía de agua natural. Este es un punto básico que hace que el sistema ribereño disminuya siempre, sin que nunca aumente.

Bajo la ley común las corrientes no pueden desviarse de una vertiente hidráulica a otra. Esto disminuye todavía más la oportunidad de los usuarios de tierras para obtener un suministro adecuado de agua que cubra sus necesidades de expansión, especialmente en lo que se refiere a riegos.

Aunque cierto terrateniente puede agotar la corriente para satisfacer sus necesidades domésticas naturales, que incluyen agua para su casa-habitación, animales domésticos familiares, aves de corral y otras clases de ganado, y para el jardín y prados familiares, otros usos quedan limitados a la llamada proporción natural para necesidades artificiales, tales como los riegos. A menudo esa proporción es difícil de precisar, y en sentido estricto no puede ejercitarse sino hasta

que se satisfacen todos los usos domésticos. En términos generales, es la porción o utilización del suministro común de agua que se considera razonable en relación con los derechos semejantes de utilización de todos los terratenientes ribereños que queden hacia abajo de la misma corriente. Esa limitación no es muy onerosa si el suministro común es abundante; pero si no lo es, la proporción puede ser menor que la necesaria para llevar a cabo una explotación eficiente. Esto hace inseguras las inversiones a medida que aumenta la utilización de consumo.

¿Cuál es la utilización razonable del suministro común de una persona en relación con la de otra?

Nuestros tribunales explican que esto depende de las circunstancias del caso en la localidad particular donde ocurre la competencia sobre el agua, tales como tamaño de la corriente, naturaleza de los usos y tipos de almacenamiento, desviaciones y facilidades de utilización. Como el problema de la utilización razonable es uno de hecho que debe decidirse por un jurado, el usuario del agua tiene que acudir a los tribunales para obtener la respuesta. Esto estaría muy bien si el litigar no fuera asunto costoso, especialmente cuando se trata de varios usuarios competidores. También estaría muy bien si los jurados no disintieran de una localidad a otra sobre lo que constituye una utilización razonable.

Muchos agricultores que se encuentran fuera de las principales áreas de riego del Oeste están aumentando rápidamente sus superficies de tierras de riego, a fin de protegerse y proteger a sus empresas contra la sequía y para enfrentarse a la competencia.

Sin embargo, muchos de ellos obtienen el agua de los arroyos que escasean o se secan durante la estación de mayor demanda. Por lo tanto, es indispensable el almacenamiento de agua en la tierra y en depósitos durante las estaciones de abundantes lluvias y es imperativo el desbordamiento si se quieren cubrir las demandas en las estaciones de sequía.

Bajo el sistema ribereño, ¿es una utilización razonable de la corriente el almacenamiento durante el periodo de tiempo considerable? Los tribunales de algunos de nuestros llamados estados húmedos no han dado decisiones que se relacionen con las personas que utilizan los riegos y que almacenan el agua, ni tampoco en relación con otros usuarios que almacenan agua, especialmente en el caso de usuarios que no la consumen. Generalmente el almacenamiento estacional no se considera como utilización ribereña razonable en esos estados.

Por lo que se refiere a los usuarios que no consumen el agua para fines de producción de energía, los tribunales del Este han decidido que el usuario superior puede almacenar agua durante la noche o día anterior, a fin de tener carga suficiente para producir energía para el siguiente día o noche. Esto se considera como utilización razonable, aun cuando despoja al usuario inferior de su suministro común durante varias horas y causa una interrupción de sus actividades. No podemos decir con seguridad lo que los tribunales aceptarían como utilización razonable en nuestros estados más húmedos, en vista de las utilizaciones para producción de energía establecidas mucho tiempo atrás que quedan en conflicto con los usos para riego establecidos recientemente, auxiliados con los almacenamientos estacionales necesarios.

Otro aspecto de la utilización razonable bajo la ley común es el tipo de utilización en sí. Se dice que es ilegal la utilización por una municapilidad en tierras que no toquen a la corriente, aun cuando la municipalidad pueda poseer tierras con derechos ribereños en el sitio en que se obtiene el agua de la corriente o lago. Además, los usos municipales generalmente no se consideran como usos ribereños, y muchas municipalidades se han enfrentado al mismo tipo de problema de escasez de agua que los agricultores, especialmente en las pequeñas corrientes tributarias. A menudo sus economías están íntimamente ligadas con las de los agricultores y hay que considerar también sus necesidades.

OTRA LIMITACIÓN DEL SISTEMA RIBEREÑO, que tiene implicaciones que llegan

muy lejos, se deriva del concepto primordial de que cada porción de tierra ribereña tiene derecho a que todo el flujo de la corriente le llegue sin disminución en cantidad y sin que se perjudique en su calidad, con la sola excepción de que el usuario ribereño puede agotar todo el flujo si es necesario para satisfacer sus necesidades domésticas. A este concepto se le llama teoría de flujo natural. Cuando se aplica estrictamente, tiende a dar al usuario inferior de una corriente una especie de monopolio del flujo de la misma.

En la mayoría de los casos el uso doméstico del agua sólo requiere una parte relativamente pequeña del flujo total de la corriente; pero los usos artificiales, tales como los riegos, consumen grandes cantidades de agua. Cuando esos usos artificiales son importantes y es probable que ocurran escaseces, es indispensable una guía cuantitativa para la división de los suministros de agua disponibles entre aquellos que los necesitan, dando así la oportunidad de que todos aumenten su utilización del agua sin violar los derechos establecidos para su uso. El sistema ribereño de la ley común no proporciona ninguna guía cuantitativa efectiva para la división de los suministros de agua.

Los agricultores tienen que reconocer otras debilidades básicas en los derechos ribereños de la ley común y desean cubrir sus necesidades siempre cambiantes. El terrateniente ribereño no queda obligado a tomar ninguna medida benéfica o de conservación del suministro de agua, ya que sus derechos no se derivan del uso, y la sola falta de utilización no producirá la pérdida de sus derechos de agua. Sus derechos se derivan única y exclusivamente en razón de su propiedad de la tierra, y puede desperdiciar el agua, dejarla fluir al mar y no hacer contribución alguna para el mejoramiento de las condiciones de vida rural y comunal, conservando de todos modos sus derechos de agua mientras conserve la propiedad de la tierra. Este es el concepto de la ley común fuera de los 17 estados del Oeste.

¿Es esto consistente con la política básica de tierra de cada estado para conservar, proteger y utilizar prudentemente cada acre de tierra adecuado para fines agrícolas? ¿Es conveniente adoptar una política de conservación de la tierra y otra de desperdicio de las corrientes?

El sistema ribereño tiene varios inconvenientes o debilidades importantes desde el punto de vista del interés público de todos los posibles usuarios del agua y de los inversionistas. Por lo que hace a las oportunidades de utilización del agua, es un sistema de disminución o reducción, y a la larga contribuye a la creación de monopolios y a la falta de utilización de la misma. No permite establecer una guía cuantitativa para una distribución equitativa y constante de los suministros de agua disponibles, especialmente para aquellos que desean incrementar su uso para riegos. No contribuye a una utilización prudente y benéfica, ni a la conservación y prevención de desperdicios como lo hacen nuestras leyes básicas estatales en relación con los recursos de la tierra. No proporiona una base para que el público pueda participar en el desarrollo y utilización del agua. Nuestra economía en expansión necesita una política firme y positiva de incremento de los usos benéficos y de conservación de las aguas superficiales.

Los siguientes ajustes en nuestra ley común actual, en relación con los lagos y corrientes definidas, podrían considerarse como medios de alentar la mejor utilización del agua:

1º Desarrollar e incorporar en las legislaciones estatales, en las reformas constitucionales o en ambas, nuevas políticas básicas sobre el agua que contribuyan a su utilización en forma benéfica, a la conservación de los recursos y a la prevención de desperdicios; que den seguridad y aliento a los inversionistas; que constituyan una prudente guía administrativa para el desarrollo y utilización de las aguas, y que proporcionen una repartición adecuada y equitativa de los suministros de agua entre los usuarios actuales y potenciales de la misma por medio de reglamentaciones cuantitativas que sirvan de guía para el conocimiento de todos.

2º Legislaciones que proporcionen esas políticas básicas, incluyendo la definición de términos para aclarar las leyes ya existentes y las que puedan promulgarse, li-

mitaciones de las leyes nuevas o exenciones de aplicación de las mismas y definiciones de la responsabilidad de las agencias administrativas, así como disposiciones para los procedimientos administrativos o de cualquier otra naturaleza.

3º Programas de investigación y guía técnica que traten de alentar el total desarrollo y utilización de los recursos hidráulicos de cada estado, de acuerdo con sus capacidades y con las necesidades de todos los habitantes.

Los sistemas estatutarios relacionados con las vías de agua naturales ya definidas, pueden dividirse en términos generales en derechos de prescripción, confiscación y apropiación. De hecho, todos esos derechos son del tipo de apropiación, lo que significa el derecho de desviar y tomar posesión de una determinada cantidad de agua; pero no se reconocen generalmente como tales, por lo menos en sentido técnico.

Bajo la ley de prescripción, una persona que no tiene derecho legal para tomar agua de una corriente definida puede adquirir ese derecho si toma el agua a que otra persona tenga derecho y continúa utilizándola por el total del periodo estatutario, que puede ser hasta de 20 años en algunos estados. Ese derecho se origina en el uso contrario antes que el del propietario legal. El uso que se haga después no puede crear un uso contrario contra terceros después de que el agua haya pasado por sus tierras, excepto en muy raras circunstancias.

El tenedor de un derecho de prescripción debe tomar el agua cada año por el total del periodo estatutario bajo un título de derecho contrario a los intereses del propietario legal y previo aviso al mismo. Por lo tanto, en este aspecto de la legislación hidráulica, el estado sanciona una utilización indebida si se continúa por el periodo de tiempo necesario. El derecho que se adquiere en esa forma es específico, por lo que hace a tiempo, lugar y cantidad, y, por lo tanto, es más seguro que un derecho de ley común. Sin embargo, una vez adquirido el derecho el tenedor de la prescripción no puede incrementar su utilización a mayor cantidad de la hecha durante el periodo estatuario, a menos que trate de adquirir un nuevo derecho de prescripción para uso adicional mediante el mismo procedimiento prolongado y peligroso. La extensión de su derecho se limita al volumen de su utilización actual, a menos que los tribunales le concedan la plena capacidad para construir una zanja de desviación o depósito, independientemente de la utilización actual.

Aun así, antes de que el tenedor de un derecho de prescripción pueda estar seguro de la naturaleza y extensión de sus derechos de utilización, debe obtener la confirmación de un tribunal mediante veredicto de un jurado. La naturaleza y extensión de la utilización es materia de hecho para un jurado, al igual que el problema de la utilización razonable bajo el sistema ribereño, y, por lo tanto, el probar cada elemento necesario para establecer el derecho implica incertidumbres y gastos.

El punto importante que hay que considerar es que se están haciendo mayores utilizaciones artificiales del agua de las corrientes, en vista de las sequías y de las insuficientes facilidades de almacenamiento, que es precisamente el medio en que a menudo se aplica la ley de prescripción. Naturalmente, una utilización mediante permiso no puede crear una utilización contraria en ningún caso.

Un aspecto difícil de la prescripción es el hecho de que no se refiere notificación de la utilización. Bajo la ley, la persona afectada se considera como notificada si pudo haber ejercido, pero no lo hizo, una vigilancia razonable para asegurarse de los usos contrarios que se estuvieran haciendo corriente arriba.

En sitios en donde hay escaseces de agua, algunos agricultores están perdiendo sus derechos de utilización bajo este sistema y otros pueden estar obteniendo nuevos derechos, pudiendo incrementarse esta situación en lo futuro. Podría argüirse que las personas que tienen derecho a utilizar el agua, pero que no lo hacen, no deben quejarse si otros invierten sus fondos y su tiempo en el desarrollo de las aguas y contribuyen así en forma substancial a la vida rural.

La mejor forma de alentar la utiliza-

ción benéfica de las aguas sin que haya desperdicios podría consistir en establecer un sistema de apropiaciones que autorice en primer lugar la utilización legal, que requiera notificación pública a los tenedores de derechos ya existentes y que permita la creación de nuevos derechos sólo en aquellos casos en que no interfieran con los usos benéficos ya establecidos y en la extensión de los mismos, excepto cuando se trate de fines de utilidad pública y previo pago de una justa compensación.

Los DERECHOS ADQUIRIDOS por confiscación por causa de utilidad pública sólo necesitan aquí una atención limitada. Las municipalidades y otras organizaciones que ejercen funciones públicas pueden quedar autorizadas por estatuto para adquirir algunos derechos de agua mediante pago de la justa compensación. Esto es necesario para asegurar suministros adecuados de agua para los grandes grupos de habitantes; pero los agricultores individuales en la mayor parte de los estados no tienen esa autorización y están imposibilitados para mover sus tierras a localidades más favorables desde el punto de vista de suministro de aguas o de leyes hidráulicas, como ocurre con las industrias. Tampoco pueden confiscar derechos de agua ni derechos de paso en la mayoría de los estados, como ocurre con las municipalidades, y en vista de los aspectos desfavorables de la ley de prescripción y confiscación en lo que se refiere a los agricultores, en algunos estados éstos se encuentran en desventaja.

El otro sistema de leyes estatutarias sobre aguas supeficiales es el de apropiación previa, que es muy común en los estados del Oeste. Es el único sistema que funciona en los estados intermontañosos, ya que en algunos de los estados de la costa del Pacífico y de las Grandes Planicies, existe el sistema ribereño en una u otra forma limitada. El sistema de apropiación tuvo su origen en las necesidades causadas por las escaseces de agua y en la expansión artificial de los usos de la misma.

Bajo el sistema de apropiación previa, una persona que tiene posesión legal de cierta extensión de tierra en la que puede aprovechar el agua en forma benéfica, puede obtener del estado un permiso para desviar y aplicar a esa utilización una determinada cantidad de agua en un tiempo y sitio previamente establecidos. En algunos estados se ha concedido la apropiación como parte de la costumbre o ley común. El derecho no se deriva de la propiedad de la tierra, sino solamente de la utilización benéfica del agua.

Esa apropiación puede utilizar el agua en la tierra, ya sea que ésta toque o no toque a una corriente y que esté o no esté dentro de la vertiente hidráulica de la misma en el punto de desviación, excepto en unos cuantos estados; pero su derecho de utilización queda limitado por el principio de utilización benéfica en el que el desperdicio no se reconoce como parte de ese derecho. Si existe un suministro de agua y si otros derechos establecidos no se perjudican, debe concederse el permiso, a menos que se afecten adversamente el interés público de modo real y efectivo.

Se concede un periodo de tiempo razonable a la persona que haga la apropiación para que termine sus obras de desviación, transportación o almacenamiento y para que aplique el agua a usos benéficos. Si hace todo esto con diligencia, tiene derecho a obtener una licencia para continuar utilizando la cantidad de agua amparada por su permiso, y los derechos de apropiación pueden transmitirse con la tierra o venderse por separado como cualquier otro tipo de bienes raíces.

Si la persona interesada en la apropiación deja de hacer uso benéfico del agua por un periodo de tiempo relativamente corto establecido por ley, puede perder su derecho de utilización, ya que otros necesitan el agua y hay sólo un suministro limitado disponible que no puede desperdiciarse. Además, si la persona interesada en la apropiación utiliza una cantidad mayor de la autorizada, pueden impedírselo las apropiaciones más recientes que tengan derecho al agua que no se requiera para la satisfacción de derechos anteriores. Los que son primeros en tiempo lo son también en derecho, pero

la utilización benéfica constituye el límite y medida del derecho.

El sistema es mucho más seguro y flexible que el ribereño o el de prescripción. El derecho es específico por lo que hace a tiempo, lugar y cantidad, y el aprovechamiento es legal desde un principio. Este sistema se ha popularizado en el transcurso de los años hasta el punto de que el sistema ribereño ya no es de importancia en la mayor parte de los estados del Oeste. Algunos estados del Este han tomado medidas para utilizar algunos de estos principios de apropiación.

Sin embargo, el sistema no es perfecto. Las normas de utilización benéfica adoptadas hace muchos años por los tribunales son excesivas en algunos estados del Oeste, lo que ha dado por resultado que haya exceso de apropiaciones en las corrientes cuando los usuarios piden más agua de la que necesitan. Uno de los problemas principales en el Oeste consiste en incrementar la eficiencia de la utilización del agua y de su transportación a la tierra y en disminuir el consumo por la vegetación improductiva. Por lo tanto, las normas de utilización benéfica deben reformarse mediante nuevas leyes y prácticas voluntarias, y los estados del Este podrían beneficiarse con esa experiencia.

Otro problema consiste en la falta de flexibilidad del sistema en algunos estados. El sistema ribereño es inflexible y monopolista en un amplio sentido social y económico y disminuye constantemente sin aumentar nunca; pero el sistema de apropiación previa es inflexible hasta el grado de que los derechos adquiridos bajo el mismo deben satisfacerse en la mayoría de los casos por lo que hace a tiempo y cantidad independientemente de la posición de la utilización en la corriente. Es difícil distribuir el agua de acuerdo con la ley en localidades en donde el tiempo de utilización varía considerablemente corriente arriba o corriente abajo, lo que puede dar por resultado desperdicios y pérdidas de agua y un aumento en los costos de administración.

Las sugestiones para mejorar los sistemas estatutarios por medios legislativos y otros, podrían ser las siguientes:

1ª Proporcionar reglas cuantitativas que sirvan de guía para el empleo de alguna forma de apropiación que permita autorizar un aprovechamiento legal desde un principio, por medio de estatuto o reforma constitucional, bajo una amplia política básica de conservación.

2ª Disminuir o abolir el papel de la prescripción a medida que quedan disponibles otros medios de apropiación.

3ª Proporcionar sólidas normas de utilización benéfica que sean consistentes con el uso eficiente del agua y de la tierra, y con el almacenamiento y transportación del agua.

4ª Desarrollar en las aguas no apropiadas un sistema más flexible por lo que hace a tiempo de entrega dentro de una vertiente hidráulica o cuenca de desagüe, que constituya una limitación de los derechos recientemente adquiridos. En sitios en donde se han apropiado las aguas, aumentar la flexibilidad del tiempo de entrega mediante la adopción de programas voluntarios probados y experimentados de un año a otro hasta que resulten confiables, incorporándolos luego en convenios para la continuación de los programas practicables.

5ª Hacer provisiones para la limitación de la utilización de los flujos mínimos de las corrientes, exceptuando los usos domésticos, y autorizando el establecimiento de reservas para llenar las necesidades futuras, a fin de facilitar la administración de la utilización del agua.

Los derechos sobre el agua del suelo como aguas superficiales difundidas, se originaron en la ley común debido a la adopción de la teoría de que el terrateniente tiene derecho absoluto sobre todo lo que se encuentre en sus tierras y sobre ellas hasta los cielos hacia arriba, y a todo lo que se encuentre dentro de ellas hacia abajo hasta el centro de la tierra. Esa teoría desconocía una importante ley fundamental de la naturaleza. El agua superficial que se encuentra sobre la tierra y el agua del suelo que se encuentra debajo de su superficie, se mueven ordinariamente de un punto alto a otro más bajo.

Repitiendo, es principio básico de las leyes hidráulicas que se aplica al flujo

de las corrientes, que nadie es dueño del agua que como tal pueda fluir en una corriente, que generalmente se reconoce como de dominio público, sujeta a los derechos de utilización ya establecidos. El terrateniente sólo posee un derecho limitado para tomar posesión y utilizar cierta parte del agua bajo las condiciones establecidas por los sistemas ribereños o de apropiación. Esto está de acuerdo con los principios básicos de las ciencias físicas que reconocen la naturaleza movible del agua, que después de todo no puede ignorarse por completo.

Sin embargo, la teoría de la ley común aplicada al agua del suelo no reconoce ese principio básico. Los primeros jurisconsultos ingleses que nos transmitieron esta teoría no pudieron prever la enorme utilización que los terratenientes de nuestro siglo harían del agua del suelo. No pudieron prever la necesidad de un sistema público de reglamentaciones cuando, bajo condiciones de escasez, nuestra economía de utilización del agua del suelo se volviera tan compleja.

El sistema de la ley común tiene dos amplias reglas que varían de un estado a otro. Bajo la regla estricta, la única limitación de la naturaleza y extensión de la utilización es el suministro mismo de agua o el costo de recuperación y reposición. Por lo tanto, en sitios donde esa regla está en vigor, un terrateniente puede bombear su propio pozo hasta agotar el agua del suelo de su vecino sin que éste tenga ningún medio legal de impedirlo, lo que resulta en un ahondamiento progresivo de los pozos o cuencas y en costos excesivos de bombeo. En algunas localidades la extracción de enormes cantidades de agua causa hundimientos de la tierra, invasiones de aguas saladas y el abandono de los usos ya existentes, y su corrección se hace casi imposible. Las drásticas y costosas medidas de control pueden ser de cierta ayuda si hay disponible una fuente suplementaria de agua para la reposición artificial. Sin embargo, algunos estados se aferran todavía al viejo sistema de la ley común, a pesar del grave agotamiento del agua del suelo. Las medidas preventivas que se adopten ahora darán grandes dividendos en los estados en donde los problemas de agua del suelo no son todavía tan graves.

La segunda regla, una modificación de la regla estricta, varía de acuerdo con los estados y no establece ninguna limitación de los derechos del propietario para desarrollar y utilizar el agua del suelo que se encuentre dentro de sus tierras, excepto si existen condiciones especiales. Un tribunal puede impedir que un propietario desarrolle y utilice el agua del suelo si, con conocimiento de causa, por negligencia o dolo, daña el suministro de agua de su vecino. Puede también impedírsele que transporte agua del suelo de sus propias tierras a otros sitios remotos para su uso o venta en ellos, si con ese procedimiento se dañan los suministros de agua de un vecino.

A esto se le llama regla de utilización razonable, pero de hecho un jurado debe establecer lo que se considere como utilización razonable. La sola disminución razonable de la meseta de agua no puede ser un daño suficiente para que caiga bajo esta regla. El descenso debe ser de tal naturaleza que cause daños considerables a los suministros de agua de un tercero, y esa resolución no es más que un simple expediente para resolver condiciones especiales.

En realidad, la regla de utilización razonable es una excepción a la regla estricta de propiedad absoluta del agua del suelo en la tierra de cualquier persona. En California esta excepción se desarrolló de tal modo que se reconoce al propietario superficial un derecho en común con otros terratenientes sobre la misma cuenca de agua del suelo. Por lo tanto, su derecho de utilización queda limitado por los derechos de los demás propietarios que se encuentren en condiciones iguales sobre la misma cuenca de agua del suelo. Sin embargo, se ha sostenido que si el agua del suelo excede de las necesidades de todos los propietarios superficiales, puede exportarse cierta cantidad de ella para utilizarse fuera de la cuenca; pero a este aspecto se le considera como apropiación.

Estas dos reglas sobre el agua del sue-

lo establecidas por los tribunales no se aplican a las corrientes subterráneas bien definidas. Estas últimas están sujetas a los sistemas ribereños o de apropiación, dependiendo de la ley estatal que esté en vigor. Mientras el suministro de agua del suelo sea adecuado, las dos reglas de la ley común, desarrolladas cuando los suministros exceden ordinariamente de la demanda, son satisfactorias en la mayoría de los casos; pero cuando los suministros son escasos, como acontece en muchas áreas del Sudoeste y en varias áreas industriales del Este, las viejas reglas son totalmente inadecuadas, ya que no proporcionan una base real para la repartición del suministro común ni para la protección de las inversiones que dependen del mismo. Se necesita una guía cuantitativa bajo alguna forma de apropiación estatutaria.

LOS SISTEMAS ESTATUTARIOS para el control y utilización del agua del suelo, además de la prescripción, confiscación y control de la contaminación, que no se discuten en este capítulo, toman tres formas principales: la primera establece la clausura y control del flujo de los pozos artesianos y es sumamente benéfica para la conservación de las presiones y suministros de agua, así como para disminuir los desperdicios o el desagüe causado por el escurrimiento superficial. Generalmente el sistema no resuelve los problemas del agua del suelo y en algunos estados la ley no se aplica en forma eficaz.

El segundo sistema estatutario establece limitaciones sobre la extensión del bombeo que pueda permitirse en una área determinada, las licencias de los perforadores de pozos y la obtención de datos hidráulicos por el estado. La ley de New York, por ejemplo, requiere un permiso para instalar o hacer funcionar pozos nuevos en algunos condados de Long Island en donde la capacidad de ellos o de los pozos nuevos y viejos excede de 100,000 galones diarios, y Wisconsin tiene una ley semejante.

En Illinois el estatuto autoriza el establecimiento por referéndum de distritos locales de agua para reglamentar el desarrollo y utilización del agua del suelo dentro de ciertos límites. Texas tiene una ley semejante, pero más completa. En los estados donde estos sistemas están en vigor se hacen ciertas exenciones relacionadas con la utilización del agua donde no se aplica la ley, y los usos agrícolas o domésticos frecuentemente quedan exentos. Los estatutos ofrecen métodos de control planeados para evitar condiciones de escasez y que tienden a prevenir las graves condiciones que se han presentado en algunos estados, aunque tienen alcance limitado y son mucho menos completos que los estatutos básicos de apropiación de algunos estados del Oeste.

El tercer sistema estatutario, o sea el de apropiación previa, se ha adoptado en algunos estados del Oeste, entre ellos Utah, New Mexico, Washington y Oklahoma. La utilización benéfica es la esencia del derecho, y la prioridad en tiempo da la prioridad en derecho. La administración de la ley radica generalmente en el ingeniero estatal, pero puede basarse en la determinación de hechos por lo que hace a la existencia de una cuenca definida de agua del suelo o a condiciones críticas de utilización y reposición. Los permisos y licencias expedidos en caso de apropiaciones de aguas superficiales son específicos por lo que hace a tiempo, sitio y cantidad. Las licencias constituyen propiedades reales y pueden traspasarse en la misma forma que la tierra. Por lo tanto, una vez que se adquiere el derecho, es más seguro que el de la ley común.

Muchos estados, especialmente en el Este, necesitan ciertas mejoras en sus sistemas actuales de leyes hidráulicas sobre agua del suelo, sugiriéndose unos cuantos cambios:

1º Adopción de políticas básicas sobre el agua del suelo que enfaticen la utilización benéfica, conservación y prevención de desperdicios, que proporcionen seguridad y alienten a los inversionistas y que constituyan una guía administrativa a nivel estatal y local, de acuerdo con las capacidades de los recursos y las necesidades de los habitantes, y que suministren una repartición adecuada y

equitativa de los recursos de agua entre los que los necesitan.

2º Establecimento de una legislación que complete las políticas básicas a fin de obtener una regla cuantitativa que sirva de guía para el desarrollo y utilización y que incluya una definición de términos para aclarar las leyes ya existentes y las que puedan promulgarse, que establezca la autoridad de las agencias encargadas de su administración, así como los procedimientos administrativos y otros para la determinación de usos y guía de los desarrollos.

3º Investigación, educación y servicios técnicos, que se proporcionen mediante la cooperación de las agencias locales, estatales y federales para ayudar a los estados y a los habitantes de las diversas localidades a completar aún más sus políticas básicas.

La modernización de las leyes hidráulicas estatales ocurre lentamente, si acaso. La preparación de la legislación en sí es sólo una de las muchas tareas necesarias. El problema principal consiste en obtener el entendimiento y la aceptación de los principios legales que tienden a limitar lo que un terrateniente o grupo de propietarios puede hacer con las aguas que ocurran en sus propiedades o que fluyan sobre ellas. El corolario de este problema consiste en determinar el medio más práctico para que la autoridad pueda limitar la autorización de que esas aguas se depositen y que se ejerza por las agencias gubernamentales locales o estatales.

A medida que la economía de la utilización del agua se vuelve más compleja, debe haber disposiciones que protejan tanto los intereses públicos como privados. Esas disposiciones equivalen a cierto grado de transferencia de autoridad de los individuos a las agencias del gobierno, y es muy natural que los dueños de propiedades se resistan a esa transferencia hasta que estén seguros de cómo funcionará un sistema nuevo o mejorado. La clave del éxito para que ocurra esa transferencia consiste en conservar el control de las amplias políticas de funcionamiento, dejándolo en manos de personas que cedan algunos de sus derechos sobre el agua.

En esas condiciones se requiere un gran volumen de estudios cooperativos, información sobre hechos y planeamiento para alcanzar el entendimiento y la aceptación de los problemas de agua y de las disposiciones legales que se requieren para solucionarlos. La experiencia indica que esto puede hacerse mejor mediante la formación de comités de estudio estatales y locales (o de agricultores u otros), que puedan concentrarse cada vez en una fase determinada de la legislación. La tarea es tan vasta en la mayor parte de los estados que debe dividirse en fases, atacando primero los problemas básicos cuya solución puede proporcionar el fundamento para toda la estructura de los códigos hidráulicos modernos. Esos problemas básicos varían de un estado a otro, aun cuando dos o más estados pueden tener algunos de ellos en común.

SIN EMBARGO, LOS AGRICULTORES no pueden llevar a cabo ellos solos esta compleja tarea, y hay otros usuarios del agua que también tienen responsabilidades: las municipalidades, los grupos recreativos y las organizaciones que se relacionan indirectamente con ellos. Todos esos usuarios deben tener igual oportunidad de participar, si se quiere que se promulguen leyes adecuadas y equitativas que tengan aceptación pública. Además, las nuevas políticas y procedimientos incorporados en la ley presentan problemas legislativos, y, por lo tanto, los dirigentes de ambas cámaras de cada legislatura estatal deben participar en esos estudios. Es muy importante la participación completa, desde un principio, de todos los grupos interesados.

La modernización de la legislación hidráulica es sólo una parte de la tarea total. Debe haber programas de investigación, educativos y técnicos bien planeados, organizados y apoyados, así como otros servicios que deben suministrar las organizaciones o agencias locales, estatales y nacionales. Se dan a continuación algunos de esos servicios, que se relacionan con la legislación hidráulica y con su administración:

1º Análisis, sumarios e interpretaciones preliminares de las leyes hidráulicas existentes en cada uno de los 31 estados

del Este, por lo que hace a derechos y organizaciones relacionadas con la utilización del agua y los daños consiguientes.

2º Estudios intensos y estimación de los problemas de daños y utilizaciones especiales en cada uno de esos estados, así como en algunos de los 17 estados del Oeste, para identificar las principales dificultades legales y administrativas y la mejor forma de solucionarlas mediante reformas a la Constitución, legislaciones, reglas y reglamentaciones, y otros medios.

3º Provisión de servicios especiales de consulta para el desarrollo de guías técnicas para uso de los comités de estudios de leyes hidráulicas de los estados, basados en la experiencia de todos ellos, así como de otras comunidades, en relación con las leyes hidráulicas que se consideren necesarias.

C. E. BUSBY *se diplomó en las escuelas de leyes de las Universidades de Nebraska y Georgetown, y ha sido geólogo y conservador durante cinco años de la División de Conservación de la Universidad de Nebraska.*

Cómo compartir la responsabilidad económica

Roy E. Huffman.

LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA han desarrollado sus recursos hidráulicos hasta su nivel actual mediante actividades federales, estatales y locales, y la mayor de ellas es la última. Las actividades de los individuos y de los grupos locales han sido las causantes de la mayor parte de ese desarrollo. Los riesgos son un ejemplo. Sólo aproximadamente una cuarta parte de la tierra de riego en las granjas de los 17 estados del Oeste, según el Censo de Agricultura de 1950, se desarrolló por el Gobierno Federal, y los estados han tenido una parte relativamente pequeña en la gran tarea de hacer que el agua quede disponible para riegos y otros usos.

Podemos suponer que el trabajo y los fondos de los individuos y de las comunidades continuarán siendo de gran importancia en los esfuerzos que se relacionan con la economía y la utilización del agua pero ahora más que nunca tenemos que reconocer que muchos de los proyectos y programas futuros implicarán mayores desembolsos financieros y un uso más extenso de los conocimientos técnicos.

Por lo tanto, puede esperarse que el Gobierno Federal asuma responsabilidades mayores, mientras que los individuos y grupos locales serán un factor de menor importancia que en el pasado, cuando el desarrollo era menos costoso y comprendía menos problemas técnicos.

Podemos suponer también que los estados pueden aceptar una responsabilidad mayor en ciertos proyectos, que van más allá de la capacidad de los individuos o comunidades, pero que no requieren ayuda federal.

La continua participación a niveles federales, estatales y locales significa que la repartición de la responsabilidad financiera se volverá cada vez más importante. Esto se debe a que hay pocos programas futuros que puedan desarrollarse exclusivamente por un solo nivel de esfuerzo público o privado aislado de los demás niveles de actividad. El alcance puede ser tal que los beneficios se apliquen a muchos y diversos usuarios públicos y privados. ¿Quién debe ayudar a pagar los costos de esos desarrollos? ¿Cuánto debe pagar cada beneficiario?

El problema de compartir la responsabilidad financiera se complica por dos factores decisivos que implican la utilización eficiente de nuestras aguas: El concepto de fines múltiples y el de cuencas de río.

El desarrollo de las aguas para usos múltiples significa que los costos deben repartirse entre las diferentes clases de usuarios, así como entre los diversos niveles del gobierno. El desarrollo de los recursos hidráulicos a base de cuencas fluviales es ordinariamente una situación interestatal en la que los beneficios y costos no se relacionan específicamente con límites, ya sean nacionales o estatales.

Por lo tanto, además del importe de los costos y de su incidencia entre los beneficiarios, una de las preocupaciones

principales se relaciona con la capacidad de los arreglos institucionales disponibles para la instalación de un sistema de repartición de costos.

Muchos de los beneficios pueden definirse y medirse fácilmente, y es muy fácil decir a los beneficiarios quién debe pagarlos; pero algunos otros beneficios son más difíciles de definir y no pueden medirse en términos de dinero. Estos son los valores fuera de mercado, los que no pueden valorarse por el mecanismo de los mercados y que incluyen beneficios intangibles. La mayor parte de ellos ocurre en el área de beneficios públicos y se acumulan en un segmento indefinido de la ciudadanía más bien que en los individuos o grupos específicos. Muchos de esos valores fuera de mercado tienen significación nacional, y el Gobierno Federal contribuye a sus costos.

Se ha dado mucha atención y se han hecho ciertas investigaciones sobre el problema que implica la apreciación de esos valores fuera de mercado. A veces se ha dado énfasis a encontrar una forma de aplicar unidades monetarias de medida a valores que normalmente no son monetarios. Otras veces se ha intentado formular unidades no monetarias de medida para esos valores fuera de mercado, y es necesaria cierta unidad de medición de esos valores si se quiere que el costo de financiación de los desarrollos hidráulicos se reparta en forma equitativa. El aumento de población y el incremento en el énfasis dado a las actividades recreativas y otras consideraciones estéticas, indican que esos valores fuera de mercado serán más importantes en lo futuro de lo que han sido hasta ahora.

Es relativo definir los beneficiarios que son usuarios directos del agua y medir la proporción en que deben compartir los costos. Entre ellos se cuentan los agricultores que necesitan riegos, las plantas hidroeléctricas, las empresas industriales y los dueños de casas-habitación.

Generalmente es difícil determinar la responsabilidad financiera relativa de los beneficiarios indirectos, ya sean privados o públicos. Es especialmente difícil la repartición de costos y beneficios públicos entre las unidades gubernamentales locales, estatales y federales. Los puntos de vista locales, estatales y federales de lo que constituyen beneficios públicos definibles difieren en cada nivel de organización social. A menudo los beneficios públicos locales son obvios y los ciudadanos reconocen su importancia, independientemente de que compartan o no la responsabilidad financiera. Frecuentemente los beneficios públicos a nivel estatal son menos aparentes, y en nivel nacional son difusos e indefinidos.

La participación local en el financiamiento de los proyectos hidráulicos se ha llevado a cabo por medio de diferentes arreglos institucionales.

Las organizaciones de distrito, que funcionan como subdivisiones legales de los estados y asociaciones de usuarios del agua organizados como cooperativas, son dos arreglos comunes, y se ha adoptado extensamente el tipo conocido como distrito de conservación. El Distrito de Conservación de la Vertiente Hidráulica de Muskingum, en Ohio, ha hecho mucho para eliminar las inundaciones, aumentar la productividad de las tierras agrícolas y forestales y crear valiosas facilidades recreativas.

El Distrito de Conservación de la Vertiente Hidráulica de Muskingum se creó en 1933, y comprende 18 condados que incluyen aproximadamente una quinta parte del estado de Ohio. La creación del Distrito fue resultado de las frecuentes inundaciones en esa área, y se inició con aportaciones considerables de la Administración de Proyectos de Obras del Gobierno Federal, aunque ha sido autónomo desde hace muchos años.

La forma en que la Asociación del Valle de Brandywine, en Pennsylvania, ha controlado la erosión y limpiado un arroyo contaminado, es típica de la manera en que se han organizado las fuerzas locales para solucionar los problemas relacionados con las aguas. La corriente arrastraba la tierra superficial de las colinas desnudas y de las hondonadas, y se contaminaba con aguas negras y desechos industriales. La Asociación del Valle de Brandywine se compone de más de 800 miembros que pagan cuotas. El extenso

uso de fotografías de las áreas en mal estado ha suministrado cierta forma de persuasión moral que ha hecho que los responsables apliquen medidas correctivas.

Se ha usado extensamente el tipo de organización de distrito en relación con los desagües y riegos de la tierra. Como subdivisión legal del estado, el distrito tiene facultades para cobrar impuestos, y el financiamiento se maneja en parte mediante la imposición de impuestos sobre las tierras afectadas. Los límites de los distritos de desagüe y de riego son ordinariamente los mismos que los del área de tierra que resulta beneficiada.

Sin embargo, cada vez se reconoce más el hecho de que aparte de los agricultores hay otros que se benefician con los proyectos de desagüe y de riego. Se ha notado la existencia de beneficiarios que no son agricultores, especialmente en relación con los desarrollos de riegos y esto ha llevado a la formación de distritos de conservación en muchas áreas nuevas de riego, a fin de que se pueda exigir que otros beneficiarios contribuyan a la responsabilidad financiera, además de los agricultores que forman los distritos de riego tradicionales.

El problema de identificar y valorar los beneficios de los riegos que no ocurren en las granjas a un nivel local ha sido materia de varias investigaciones recientes, pero hay todavía mucho que hacer en esta área. La información de hechos en relación con la naturaleza y extensión de los beneficios locales fuera de las granjas, es indispensable para el funcionamiento de cualquier arreglo institucional que se relacione con los cobros, tanto a los beneficiarios que sean agricultores como a los que no lo son.

El Distrito de Conservación de Aguas del norte de Colorado se originó como medio de proporcionar un suministro de agua adecuado a una de las áreas de riego más antiguas del Oeste. En 1870 la Colonia Unión se estableció en una parcela de tierra virgen que más tarde se convirtió en la comunidad de Greeley, Colorado. El crecimiento económico del área excedió del suministro de agua disponible para riegos y otros usos. La extensión del desarrollo necesario para asegurar un suministro adecuado indicó que se necesitaba la participación federal y que otros beneficiarios, además de los agricultores, deberían participar en la responsabilidad financiera. El distrito de conservación se organizó en 1937, después de que la Legislatura de Colorado promulgó la ley de capacitación necesaria. El distrito de conservación se obligó a reembolsar al Gobierno Federal 25 millones de dólares en 40 pagos anuales por los beneficios de riego creados por el desarrollo. El resto de los costos de construcción se reembolsarán con los productos del sistema de energía hidroeléctrica que retiene el Gobierno Federal. Los costos de los riegos se reparten entre todos los beneficiarios del distrito. Una contribución de la décima parte de un centavo sobre todas las propiedades rurales y urbanas del distrito reembolsará aproximadamente una cuarta parte de los 25 millones de dólares cargados por los beneficios de riego. Las otras tres cuartas partes se reembolsarán de los amillaramientos por pie-acre pagados por los agricultores individuales, municipalidades, empresas de riego y otros usuarios directos del agua.

El Octogésimo Tercer Congreso ha autorizado un programa que comprende una participación en la responsabilidad financiera por las obras de conservación de agua instaladas en las pequeñas vertientes hidráulicas. Un grupo local debe manifestar su interés en el programa de una vertiente y compartir con el Gobierno Federal el costo de las obras de desarrollo que se emprendan.

El programa comprende 60 pequeños proyectos-piloto de vertientes hidráulicas como medio de encontrar la mejor forma de obtener la cooperación estatal y federal para la planeación y ejecución de un programa de protección de las vertientes hidráulicas y de prevención de inundaciones. El programa debe servir también para demostrar los beneficios obtenidos con esas obras. Aproximadamente el 50% del costo total será sufragado por el Gobierno Federal. Se dará crédito a los habitantes de la localidad por las obras de conservación y de prevención de inundaciones que hayan sido ejecutadas por ellos,

así como por las tierras, facilidades, derechos de paso y fondos con que contribuyan para las nuevas construcciones.

Louisiana tiene un programa de desagüe supervisado por el Departamento de Obras Públicas. La agencia ha ayudado a las parroquias (condados) para consolidar y rehabilitar los distritos de desagüe ya existentes. Una fase importante del programa consiste en el mejoramiento de la financiación de las empresas locales de desagüe. La Legislatura de Louisiana ha suministrado varios millones de dólares para que el Departamento de Obras Públicas los emplee en mejorar y aumentar las facilidades de desagüe.

Además de trabajar con las parroquias y distritos locales de desagüe, el Departamento de Obras Públicas coopera con el Gobierno Federal en sus programas principales de desagüe. Por lo tanto, el estado coordina las actividades locales y federales incluyendo los arreglos de financiación. Además de la ayuda financiera dada a los grupos locales de desagüe, el estado ha proporcionado fondos en cantidades iguales a las aportaciones federales, destinados a las principales obras de salidas de desagüe.

La Junta de Conservación de Aguas del Estado lleva a cabo un programa de riegos en todo el estado de Montana que se estableció por la Legislatura del mismo en 1934. Establecida originalmente para ayudar a resolver los problemas relacionados con la sequía de la década de 1930, la Junta se ha convertido en un factor importante y permanente del desarrollo de los proyectos de riego. En 20 años la Junta ha regado 133,294 acres de tierras nuevas y proporcionado aguas adicionales para 252,920 acres de tierras de riego ya existentes.

Se han gastado más de 16 millones de dólares en los proyectos de riego desarrollados por la Junta. Aproximadamente una tercera parte de los fondos consistió en aportaciones federales de ayuda por mano de obra y materiales durante los años de sequía y depresión; aproximadamente una tercera parte se originó en los bonos de ingresos de agua, y la Legislatura contribuyó con el resto. La mayor parte de los fondos disponibles en años recientes han consistido de aportaciones del estado.

Sólo hay arreglos formales con los agricultores que utilizan riegos para participar en los costos de los proyectos construidos por la Junta. Las aportaciones federales no eran reembolsables. El monto de la contribución federal puede tener escasa relación con los beneficios nacionales derivados del programa de desarrollo de recursos hidráulicos estatales. Si los agricultores que utilizan riegos reembolsan el total de fondos derivados de los bonos de ingresos de aguas y de las aportaciones del estado, ningún otro beneficiario de Montana contribuirá a la responsabilidad financiera del programa de desarrollo. Si las aportaciones del estado no se reembolsan totalmente a la Tesorería, todos los contribuyentes de Montana ayudarán a pagar el costo de los beneficios indirectos de los proyectos de riego. Sin embargo, como en el caso de la contribución federal, esa contribución en los costos sería accidental y puede tener escasa relación con la cantidad real de beneficios obtenidos por el estado.

ALGUNOS PROGRAMAS HIDRÁULICOS crean problemas interestatales, y se está dando mayor atención a los arreglos institucionales, especialmente a los convenios interestatales, que permitirán la contribución a la responsabilidad financiera sobre una base regional. Un convenio interestatal es un convenio celebrado entre dos o más estados con el consentimiento del Congreso, y se han empleado para diversos fines, incluyendo la distribución de agua.

Esos convenios pueden usarse también para fijar la responsabilidad financiera de cada uno de los estados interesados en un programa interestatal de desarrollo. A menos que se establezca algún sistema de coordinación para el desarrollo de una cuenca fluvial a nivel federal, incluyendo la financiación, parece necesario que los estados tengan ciertos medios de integrar sus actividades y para especificar los derechos y responsabilidades de cada uno.

Los convenios pueden ser medios útiles si los derechos establecidos no son tan fijos que impidan los cambios econó-

micos y que continúen las antiguas normas de utilización de recursos. El establecimiento de un arreglo institucional para facilitar la contribución a la responsabilidad financiera entre estados para el desarrollo de los recursos hidráulicos, no debe ser una barrera para obtener los máximos beneficios de ellos.

La participación en costos debe tender a promover un sentimiento de responsabilidad de parte de los contribuyentes locales, estatales y federales en las actividades emprendidas en relación con los desarrollos hidráulicos. Es fácil para los contribuyentes, en cierto nivel del gobierno, el favorecer un determinado proyecto si el total de los costos o la mayor parte de ellos va a ser absorbido por los contribuyentes de otros niveles; pero sí la participación en la responsabilidad financiera va a aceptarse por los usuarios directos de los recursos, deben deteminarse tan precisamente como sea posible las responsabilidades individuales y de grupo.

Debe hacerse hincapié en que los beneficios públicos continuarán escapando a una valoración precisa. Sin embargo, esa circunstancia no debe constituir una base para permitir que la proporción pública de los costos de desarrollo quede representada sencillamente como residuo después de que se hayan determinado los beneficios privados y se hayan distribuido los costos.

Si va a compartirse la responsabilidad financiera del desarrollo de los recursos hidráulicos, debe hacerse bajo una base realista. Primeramente debe determinarse la proporción de costos que vaya a absorberse por los beneficiarios privados. Después deben establecerse los beneficios públicos definibles que vayan a pagarse por los grupos locales, estatales y nacionales, y finalmente, los costos que no deriven de beneficios privados o de beneficios públicos definibles, pero que vayan a ser absorbidos por el público, deben considerarse como subsidios y reconocerse como tales, sin que se confundan con los beneficios públicos definibles.

Como muchos de los beneficios públicos permanecerán completamente indefinidos, es probable que la facultad de imposición continúe siendo un factor importante en el proceso de contribución de costos, especialmente en nivel nacional. Es imposible asociar muchos beneficios públicos con cualquier segmento de la población o llegar a un acuerdo general por lo que hace a la importancia exacta de los beneficios, y sin embargo, la población nacional seguirá deseosa de compartir los costos si acepta la idea de que son de interés público. No puede apreciarse la extensión exacta de los beneficios públicos, como tampoco pueden apreciarse los beneficios derivados de las facilidades educativas sostenidas por el público o las investigaciones agrícolas.

El contribuyente acepta el desarrollo de los recursos hidráulicos como merecedor de su apoyo debido al incremento de la población, porque amplía la base económica de la nación, porque se considera vital para la seguridad nacional o por cualquier otro motivo. Cualquiera que sea el que se acepte como justificante de la contribución federal en los costos, el público tiene derecho a saber que los demás beneficiarios, tanto públicos como privados, están contribuyendo a esos costos con la parte que les corresponde.

ROY E. HUFFMAN *es jefe del Departamento de Economía Agrícola y Sociología Rural del Colegio del Estado de Montana, siendo consultor de las comisiones regionales y nacionales sobre política hidráulica.*

La enseñanza y el aprendizaje de la conservación

Charles W. Mattison.

LA CONSERVACIÓN DEL AGUA, como cualquiera otra materia, puede enseñarse en las escuelas y colegios. No necesita ser un curso separado, sino que puede enseñarse integrándolo con todo el plan de estudios.

Como otras materias, tiene tres requisitos: La demanda popular para que se enseñe, profesores peritos en la materia

y métodos de enseñarla, y ayudas adecuadas y precisas para ello.

La demanda para la enseñanza de la conservación del agua debe venir de las comunidades locales. Muy pocos administradores de escuelas se oponen a la enseñanza de cualquier fase de la conservación. Sin embargo, están sujetos a ciertas presiones para enseñar muchas cosas diferentes, y sólo pueden enseñar las materias que se consideran como más importantes.

Algunas instituciones de preparación del profesorado han reconocido la necesidad del adiestramiento para la conservación y la incluyen en sus programas regulares de estudios. Otras llevan a cabo seminarios de conservación durante los cursos de verano, y más de 100 de esos seminarios han preparado un número mayor de 4,000 profesores en 1954. Algunos colegios ofrecen extensos cursos de conservación.

Hay disponibles muchas buenas ayudas para la enseñanza, libros de texto, folletos, boletines, películas, cartelones, tablas, transparencias, fotografías y discos sonoros.

Una de esas ayudas es este ANUARIO. Pueden usarse muchos de sus capítulos para la preparación de los profesores y en las escuelas secundarias.

Los profesores de ciencias de las escuelas secundarias, por ejemplo, encontrarán muy útiles los capítulos sobre la naturaleza del agua y el comportamiento de la misma.

Los profesores de estudios sociales pueden utilizar eficazmente los capítulos sobre la importancia del agua para los seres humanos.

Los profesores de agricultura vocacional pueden relacionar la conservación del agua con la labranza por medio de los capítulos que tratan de la importancia del agua para los animales domásticos, para los riegos, conservación de tierras y otros.

Los profesores de educación física pueden integrar los capítulos sobre aguas buenas, con la educación física.

Puede ocurrir lo mismo con todos los capítulos, desde el principio hasta el fin.

EL AGUA COMO RECURSO es también una ayuda para la enseñanza. ¿Qué puede haber mejor que el recurso mismo para ayudarnos a aprender todo lo relativo al agua y su conservación? El agua en una u otra forma puede encontrarse en donde quiera que vive el hombre. Los verdes céspedes del Capitolio del Estado de Cheyene, Wyoming, sólo son posibles debido a la amplia utilización del agua. Un maestro puede llevar a sus alumnos a esos céspedes y enseñarles mucho sobre la importancia del agua para embellecer una comunidad. El lugar de procedencia del agua puede ser uno de los bosques nacionales que se encuentra a muchas millas de distancia, y éste puede ser asunto para otra discusión en la clase. Los bosques nacionales se establecieron para ayudar a conservar los suministros de agua, y esa agua clara y fresca que sale de las tuberías de riego en los céspedes de Cheyenne tiene grandes posibilidades para la enseñanza.

¿Deben los maestros y alumnos hacer grandes excursiones para utilizar el agua, el recurso, como ayuda de la enseñanza? ¿Necesitan ver las enormes presas o las grandes plantas productoras de energía para ilustrar los hechos sobre el agua? Deben usarse esas estructuras cuando están razonablemente cercanas, pero hay muchos sitios descubiertos más sencillos y cercanos que ofrecen útiles materiales de enseñanza. Por ejemplo, la lluvia que cae en el patio desnudo y apisonado de una escuela demuestra la escasa capacidad de absorción de agua de la tierra. Compárese esto con la lluvia que cae en un bosque o pradera cercana, y en esos sitios se demuestra el valor de las plantas para ayudar a conservar la porosidad de la tierra a fin de que pueda almacenar agua para usos futuros.

Cualquier arroyo es una excelente ayuda para la enseñanza y debe estudiarse muy de cerca. ¿Tiene un flujo de agua casi constante durante todo el año? ¿Por qué? ¿Se seca en verano? Nuevamente, ¿por qué? ¿Cuál es su importancia para la comunidad? ¿Está limpia el agua? Nuevamente, el potencial de enseñanza del agua sólo se limita por la imaginación del maestro.

La utilización del agua como recurso, como ayuda de enseñanza, necesitará excursiones fuera de la clase. Por lo tanto, está indicado el hacer algunas sugestiones para efectuar esas excursiones de campo:

Si es posible, déjese que los alumnos y los padres de éstos ayuden a planear la excursión.

Hay que conocer bien la ruta y planear el programa cuidadosamente.

Ténganse suficientes facilidades de transportación segura, ya sean ómnibus escolares, automóviles de los padres de los alumnos o un vehículo de transportación pública. Si alguna parte de la excursión se hace en el agua, asegúrese que haya salvavidas para cada pasajero y no se sobrecarguen los botes.

Las ropas deben estar de acuerdo con la estación y con el tipo de excursión.

Permítanse los periodos de descanso. Si la hora de la comida ocurre durante la excursión, asegúrese que haya alimento suficiente para cada alumno.

Durante la excursión explíquense completamente cada punto que se trate. Usense mapas, tablas y cualquier material adicional para ayudar a aclarar las discusiones.

De vuelta en la clase, compruébese lo que han aprendido los alumnos durante la excursión. Háganse preguntas y déjese que los mismos alumnos discutan la experiencia reciente. ¿Es diferente su actitud sobre la conservación del agua de la que tenían antes de hacer la excursión?

SE USAN EXTENSAMENTE LAS TRANSPARENCIAS a colores. Se pueden adquirir en el comercio juegos de transparencias relacionadas con el agua pero constituyen una ayuda más valiosa para la enseñanza cuando los maestros y los alumnos mismos las obtienen en los parajes locales. En muchas aulas, gran parte del trabajo se lleva a cabo por los comités de alumnos.

Una buena manera de enseñar la conservación del agua es mediante la preparación de juegos de transparencias como trabajo especial durante un periodo escolar. Un comité puede escribir la historia de la conservación del agua. Otro puede preparar la narración, y un tercero hacer u obtener los escenarios necesarios. Otro comité más fotografía las escenas y un quinto comité escribe las narraciones. El juego completo de transparencias se muestra a toda la clase, y probablemente a todos los alumnos de la escuela. Después de esto, los juegos de transparencias pueden utilizarse por otras clases en la misma escuela.

HAY QUE PERMITIR QUE EL CINE lleve el agua a la clase si ésta no puede estudiarla en el campo. Las películas de cine son un medio eficaz de enseñanza cuando un grupo se prepara antes de verlas y a ellas sigue una interpretación tanto por los alumnos como el maestro. Si se muestra una película de cine sobre conservación de agua a un grupo impreparado de alumnos, a menudo se convierte en entretenimiento en vez de enseñanza. Una preparación adecuada de los alumnos antes de la exhibición, la interpretación conjunta después de ésta y la evaluación subsecuente por medio de pruebas orales o escritas, son parte del empleo eficaz de las películas de cine como ayuda de la enseñanza.

Las agencias públicas, organizaciones educativas e industrias relacionadas con los recursos naturales, han producido películas de cine que ayudan a enseñar la conservación del agua. Sin pretender cubrir en forma adecuada el campo, doy a continuación una lista de películas sonoras a colores, de 16 milímetros, que he visto y que recomiendo a los maestros, a las clases y a los grupos de adultos que se interesan en esta materia.

La mayor parte de estas películas pueden conseguirse prestadas, con la sola excepción del pago de los cargos de transportación. En algunas de ellas hay una pequeña cuota de renta, y se sugiere que los usuarios escriban a los productores (cuyos nombres y direcciones se dan inmediatamente después del título de la película) para mayores detalles sobre el préstamo, renta o compra de las mismas.

Aventuras de una gota de agua. Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, Washington, 25, Distrito de Colum-

bia. 7 minutos. Película animada de la visita de una gota de lluvia a la tierra.

Arterias de vida. Enciclopaedia Britannica Films Inc., 1150 Wilmette Ave., Wilmette, Illinois. 10 minutos. El agua y los bosques se muestran como eslabones importantes de la cadena de la vida.

Aguas puras. General Electric Company, División de Electrónica, Electronics Park, Syracuse, New York. 21 minutos. La importancia de las aguas no contaminadas.

La sangre de la tierra. Servicio Forestal. 20 minutos. Cómo creamos riquezas al mantener la cobertura absorbente de la tierra y cómo atraemos desastres si la destruimos.

Series del agua viviente. Partes I y II. Enciclopaedia Britannica Films Inc. *El Plan de la naturaleza.* 14 minutos. Cómo se mueve el agua de la tierra al cielo en un ciclo sin fin. Cómo el sistema de almacenamiento de la naturaleza en la tierra retiene el agua en su sitio hasta que se necesita. *El problema del hombre.* 19 minutos. La buena conservación de las vertientes hidráulicas como fase importante del control del agua. A menudo las presas tienen poco valor si las vertientes hidráulicas se descuidan o destruyen.

Agua montañosa. Servicio Forestal. 17 minutos. El papel de la vegetación montañosa para conservar y regular los suministros de agua.

Tuberías a las nubes. General Electric Company. 25 minutos. Relaciona las fuentes de agua con las necesidades de los habitantes.

Las gotas de lluvia y la erosión de la tierra. Servicio de Conservación de Tierras, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, Washington, 25, Distrito de Columbia. 21 minutos. Se muestra cómo las gotas de lluvia en las tierras sin protección son la causa de gran parte de nuestra erosión.

Recolección de nieves. Servicio de Conservación de tierras. 24 minutos. La importante y peligrosa ocupación de inspeccionar las nieves en las altas montañas del Oeste.

Acres sedientos. Ferrocarril Union Pacific. 1416 Calle Dodge, Omaha, Nebraska. 25 minutos. La recuperación de nuevas tierras por medio de los riegos.

Las aguas de Coweeta. Servicio Forestal. 20 minutos. Los resultados de 20 años de trabajos de investigación en el laboratorio hidrológico del Bosque Experimental de Coweeta, en North Carolina.

Su valle. Su futuro. Consejo de la Vertiente Hidráulica del Río Connecticut, Western Massachusetts Electric Company, 73 Calle State, Springfield, Massachussetts. 20 minutos. La cooperación de los conservadores, agricultores, industriales y trabajadores de la energía eléctrica para conservar el agua.

La vertiente hidráulica. Departamento de Conservación de Wisconsin, Madison, Wisconsin. 24 minutos. Demuestra las buenas prácticas empleadas en Wisconsin, pero puede aplicarse también a otras áreas agrícolas del Este.

CHARLES W. MATTISON *es jefe de la Sección de Educación de la División de Información y Educación del Servicio Forestal. Se diplomó en silvicultura en la Universidad de Cornell y ha tenido más de veinte años de experiencia en el Servicio Forestal.*

Lo que está haciendo la investigación sobre los problemas del agua en la agricultura

Carleton P. Barnes.

EN MUCHOS DE NOSOTROS hay la tendencia a no dar mucha importancia a la investigación. Suponemos que hay alguien que se preocupa de saber lo que hay que hacer para solucionar una dificultad. Probablemente debido a que también damos escasa importancia a nuestra agua, estamos muy lejos de saber cuál es la mejor forma de utilizar y conservar el agua en la agricultura; pero la investigación está llenando gradualmente esas lagunas de nuestros conocimientos, y gran parte de ella se refiere a las complejas relaciones que existen entre el agua, las plantas y las tierras. Lo que hagamos a cualquiera

de las tres casi siempre afecta a las otras dos, y, por lo tanto, en muchos de nuestros experimentos debemos medir los múltiples efectos de lo que hacemos.

Los problemas del agua en la agricultura incluyen no solamente los de obtener y hacer el mejor uso del agua en las granjas, sino que comprenden también los problemas de manejo de nuestras tierras de cosechas y pasturas, bosques y praderas, a fin de que los daños producidos por el desbordamiento y las inundaciones se mantenga al mínimo posible y que las fuentes de agua, ya sea subterránea o en las corrientes, se mejoren tanto como sea posible.

El tener fuentes adecuadas de agua es una de las necesidades que la investigación está ayudando a resolver, ya que trata de mejorar los suministros de agua desde sus orígenes y en todas las etapas del ciclo hidráulico, desde el agua que se encuentra en la atmósfera hasta la del mar.

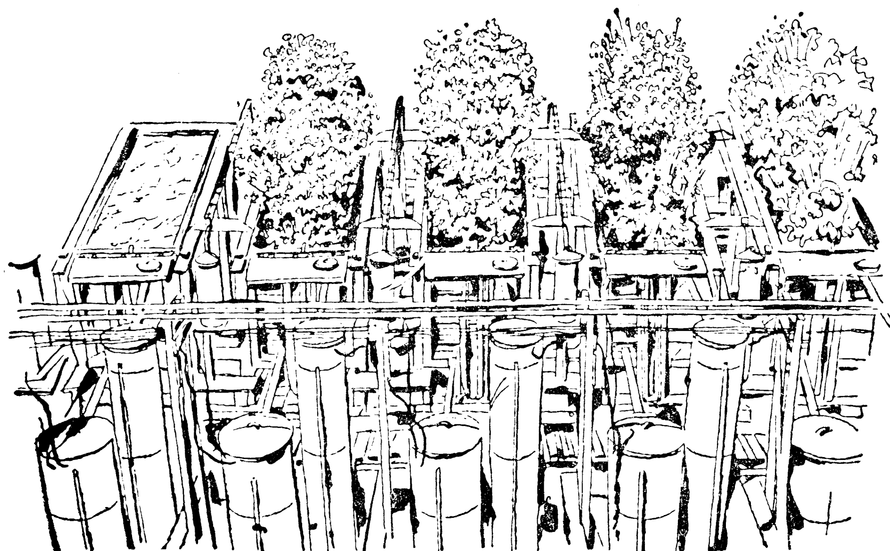
Los cambios en las lluvias es asunto de otro capítulo de este libro, en el que se describen los esfuerzos hechos para saber si podemos aumentar las lluvias o las nevadas en las épocas y sitios donde más se necesitan. Los experimentos han demostrado que bajo ciertas circunstancias puede aumentarse la precipitación sembrando las nubes con diferentes substancias que actúan como núcleos para que se condense la humedad. Como la mayoría de esos aumentos se obtiene de las nubes que podrían haber producido lluvias de cualquier modo, el problema consiste en saber cuánta lluvia adicional puede producirse mediante la siembra que la que ocurriría sin la ayuda del hombre. Este problema se está estudiando desde muchos puntos de vista, incluyendo las investigaciones sobre los factores físicos del comportamiento de las nubes. Los resultados de esos experimentos no sugieren todavía la posibilidad de acabar con una grave sequía pero ofrecen ciertas promesas de poder aumentar los suministros de agua que pueden almacenarse en la tierra, en depósitos o en forma de nieve para disminuir la severidad de las escaseces de agua.

El objeto de muchas investigaciones importantes consiste en aumentar el suministro de humedad que penetra en la tierra y que se origina en las lluvias o en las nieves. El fin general consiste en aumentar la infiltración, y en las tierras con fuertes declives, esto disminuye el desbordamiento superficial, que es la causa principal de la erosión de la tierra. Por lo tanto, la investigación tiende igualmente a la conservación de la tierra. Sin embargo, como el desbordamiento superficial contribuye a las inundaciones y a los suministros de agua de las corrientes, los resultados de las investigaciones se relacionan también con esos problemas.

Se usan las parcelas y pequeñas vertientes hidráulicas experimentales para averiguar cuáles sistemas de cultivo son mejores para el doble objeto de aumentar la absorción de agua de la tierra y disminuir las pérdidas de agua y de tierra causadas por el desbordamiento. Generalmente se miden las lluvias, el desbordamiento, las pérdidas de tierra y los rendimientos de las cosechas, y algunas de esas prácticas tienen un efecto acumulativo sobre un periodo de años en forma de una rotación de medidas de mejoramiento de la tierra que contribuyen a la mejoría de su labranza y a su permeabilidad hacia el agua.

Algunos de los experimentos más complicados emplean parcelas de lisímetros para medir el desbordamiento y la cantidad de agua que se desagua a través de la tierra hasta sus niveles inferiores. En Coshocton, Ohio, se emplea un juego de lisímetros pesadores para medir y registrar automáticamente todos los aumentos y pérdidas de humedad de la tierra. Los instrumentos pueden medir un aumento o pérdida hasta de 0.01 de pulgada. Cuatro quintas partes de la humedad que penetra en la tierra se evaporan o transpiran por las cosechas, y una quinta parte se filtra hacia abajo y sale fuera de la tierra. Al disminuir la evapotranspiración, el cultivo del maíz disminuye notablemente la proporción de agotamiento de la humedad de la tierra.

Como las hierbas y la evaporación disminuyen también el suministro de hume-



Una batería de pequeños lisímetros, instrumentos que miden los efectos de la cobertura de plantas sobre el movimiento del agua en la superficie de la tierra, dentro de ella y a través de la misma.

dad de la tierra, todas las investigaciones que se efectúan para encontrar formas mejores y más económicas para controlar las hierbas, son en realidad investigaciones que pueden incrementar los suministros de humedad. Los estudios de las prácticas de cultivo y de abono tienden a disminuir las pérdidas de humedad de la tierra, y esas prácticas hacen dos cosas a la vez: Controlan las hierbas y disminuyen también la evaporación que ocurre directamente de la tierra.

En las regiones subhúmedas, como ocurre en parte de las Grandes Planicies, utilizamos la investigación para encontrar medios de aumentar los suministros de humedad de la tierra, ya que a menudo en esos sitios las lluvias son apenas suficientes para producir una cosecha y hay años en que ni siquiera bastan para ello. Debe hacerse que la tierra absorba y almacene tanta humedad como sea posible, y en las tierras secas de la región triguera los barbechos cultivados de verano son una vieja práctica que surte efectos al conservar la tierra cultivada y libre de plantas en crecimientos durante toda una estación, a fin de producir humedad en la tierra para la siguiente cosecha. La investigación sigue adelante tratando de averiguar si hay otras prácticas que puedan ser mejores que los barbechos de verano, ya que las tierras que se dejan en barbecho no dan utilidad alguna. Por ejemplo, en Woodward, en el oeste de Oklahoma, se encontró que se obtenían mejores resultados que con los barbechos si se cultivaba trigo cada año, preparándose la tierra inmediatamente después de la recolección y cultivándola mensualmente hasta la época de siembras. Bajo diferentes regímenes de humedad, de condiciones de tierra o de cosechas, la solución puede ser diferente.

El flujo de las corrientes es una fuente de suministro de agua para la agricultura, pero se afecta también la cantidad y calidad de ella en nuestras corrientes por las prácticas de manejo que empleemos en nuestras granjas y bosques. Hemos notado que la clase de cobertura de plantas y la forma en que la manejemos afecta la cantidad de lluvia que penetra en la tierra, así como la proporción de desbordamiento, y, por tanto, la cantidad de tierra erosionada, lo que a su vez puede afectar la capacidad de infiltración de la tierra. Se afecta también la cantidad

de agua que se extraiga de la tierra por las plantas mismas, lo que a su vez afecta la capacidad de la tierra para absorber y retener las lluvias subsecuentes. Debido a estos efectos múltiples de las prácticas de manejo de la tierra, hemos hecho experimentos para saber lo que ocurre con el agua que cae, así como con la tierra, cuando la manejamos en cierta forma comparándola con otra. Los experimentos con lisímetros que mencionamos al principio demuestran lo anterior en pequeña escala; pero cuando damos atención a los suministros de agua de las corrientes, tenemos que emplear vertientes hidráulicas experimentales en las que pueden medirse esas corrientes.

Se están obteniendo datos para el diseño de estanques de granja, que son fuentes de agua para el ganado, para los riegos, para protección contra incendios y para usos recreativos, con las mediciones de los rendimientos de agua de las pequeñas vertientes hidráulicas con diferentes características de tierra, cobertura y lluvias.

Se están usando las vertientes hidráulicas experimentales para averiguar la forma de manejar las tierras forestales, a fin de conservar, o si es posible aumentar, los suministros utilizables de agua. Ordinariamente se escogen pares o grupos semejantes de vertientes hidráulicas, obteniéndose mediciones durante varios años antes de que se haga cualquier cambio en la cobertura boscosa. Entonces se hace un cambio en una o más de ellas, y se continúan las mediciones hasta que comienzan a mostrarse los efectos, si los hay, producidos por el cambio. Por ejemplo, en una vertiente hidráulica forestal del desagüe de Coweeta, en el oeste de las montañas de North Carolina, se cortaron todos los árboles y arbustos, pero no se removieron. La disminución de la cantidad de vegetación en esa forma disminuyó a tal grado la cantidad de agua que obtenían de la tierra, que el flujo de las corrientes aumentó en un 65% el primer año después de la corta. Como no se removieron los troncos ni hubo disturbios en las raíces, el aumento en la cantidad de desbordamiento no produjo un aumento de erosión ni los máximos de inundación fueron mayores. Este experimento no se llevó a cabo porque alguien creyera que sería conveniente talar todos los bosques de nuestras vertientes hidráulicas, sino para averiguar cómo y cuánto se afectaría el flujo de las corrientes con la reducción de la cobertura forestal, y esto sugiere la posibilidad de que puedan llevarse a cabo explotaciones madereras para aumentar los rendimientos utilizables de agua, permitiendo al mismo tiempo que las vertientes hidráulicas produzcan cosechas madereras. Se sugirieron también otros experimentos que ahora se están efectuando o planeando, que tratan de encontrar las prácticas que permitan que los bosques de esa región produzcan cosechas madereras sin perjudicar la producción de aguas utilizables.

Se están empleando las vertientes hidráulicas experimentales de Colorado para averiguar cómo se afectará el flujo de las corrientes que tienen su origen en la fusión de las nieves con la forma de recolección de la madera. Los experimentos efectuados en las parcelas permitieron comprobar que había más nieve disponible para el flujo de las corrientes cuando se cortaba la madera; pero que sería desastroso talar todos los bosques a fin de obtener un poco más de agua, ya que la erosión arrastraría la tierra y obstruiría las corrientes y depósitos con sus desechos, destruyéndose los valores de los bosques y de las áreas de recreo. Los experimentos efectuados en las parcelas demostraron también que algunos métodos de recolección de la madera causaban mayor almacenamiento de nieves que otros, y, por lo tanto, se están estudiando actualmente los efectos que el empleo de esos métodos en toda una vertiente hidráulica pueda tener en el flujo de las corrientes y en la erosión, incluyendo el de la construcción de caminos para la remoción de la madera.

En la mayoría de los sitios tenemos que llegar a un compromiso entre el manejo de la tierra para que produzca una cosecha de madera o de granja y su manejo para disminuir las inundaciones o aumentar el agua de las corrientes. En sitios en donde el agua es muy valiosa y en donde las vertientes hidráulicas sólo pro-

ducen una cobertura de escaso valor, tal como los chaparrales, la tierra se manejará con el objeto principal del mejoramiento o control del agua en las corrientes o en los depósitos de agua del suelo. Sin embargo, en sitios en los que las vertientes producen una cosecha valiosa como el maíz, las prácticas de manejo tenderán a almacenar en la tierra toda el agua que pueda utilizar la cosecha, aunque esto dé por resultado que haya menos agua en las corrientes y puede tender a favorecer el maíz en crecimiento, aun cuando la continua producción de heno o pasturas pudiera resultar en un desbordamiento menor y en menos daños debidos a las inundaciones, y las ventajas del cultivo del maíz compensar esas pérdidas.

La investigación efectuada en las vertientes hidráulicas está comenzando a enseñarnos cómo manejar nuestras cosechas, pasturas y bosques, a fin de obtener los mayores beneficios de las lluvias o nieves que caen en donde se cultivan. Nos está enseñando los efectos producidos por las medidas de manejo en el flujo del agua de las corrientes, y, por lo tanto, si fuera necesario manejar en tal forma algunas tierras de las vertientes hidráulicas para que las plantas que crezcan en ellas consuman menos agua para que pueda haber mayor cantidad de ella en los flujos de las corrientes para utilización de consumo, tendremos pruebas concluyentes de las mayores cantidades de agua que podemos esperar de nuestras corrientes en vez de tener que adivinarlas. Sabremos también qué desventajas ocurren con el manejo que permite un aumento de pérdidas de tierras y de sedimentos en las corrientes. En el Oeste han ocurrido argumentos, en donde el agua es particularmente valiosa, relacionados con los posibles efectos adversos del manejo de tierras que trata de aumentar la producción de forrajes sobre los suministros de agua de las corrientes. Se están efectuando investigaciones para obtener pruebas cuantitativas, a fin de que podamos resolver este problema con conocimiento de causa.

Por ejemplo, la comparación de la utilización de la humedad y de la producción de alimentos para el ganado por las hierbas de las altas praderas de Utah ha demostrado que aunque las hierbas usan menos agua la desperdician más. Esas hierbas (diente de león y salvia dulce) produjeron 80 libras de forraje verde por pulgada de agua utilizada, mientras que otras tres hierbas que se probaron (bromo liso, hierba azul de Kentucky y timotea) produjeron de 135 a 350 libras por pulgada de agua. La utilización total del agua en verano, por evaporación y transpiración, en áreas cubiertas de hierba, llegó a 8.96 pulgadas en comparación con 9.47 pulgadas en áreas cubiertas de hierba azul de Kentucky, 10.54 pulgadas en áreas cubiertas de timotea y 11.33 pulgadas en áreas cubiertas de bromo liso.

Algunos de los experimentos efectuados en las vertientes hidráulicas proporcionarán pruebas muy valiosas para las municipalidades acerca de si deben seguir la práctica bastante generalizada de completar la reforestación de las vertientes hidráulicas o utilizar alguna clase de cobertura de plantas que impida la erosión, pero que consuma menos agua que los bosques de árboles con raíces profundas. La respuesta no será la misma en todas las condiciones, sino que dependerá de los declives, profundidad y capacidad de erosión de la tierra y clima.

Uno de los resultados de las investigaciones efectuadas en las vertientes hidráulicas se refiere a la evidencia sobre la cantidad de manejo que sea necesario en una vertiente hidráulica para disminuir los máximos de inundación. Los resultados preliminares indican disminuciones importantes de las inundaciones en las pequeñas corrientes tributarias, pero sólo reducciones insignificantes en las inundaciones de las corrientes principales. Sin embargo, los estudios efectuados han demostrado que un gran porcentaje de los daños causados por las inundaciones durante un periodo de años ocurre a lo largo de esas pequeñas corrientes tributarias, debido principalmente a que hay muchas millas de ellas. Gran parte de esos daños se resienten en las cosechas y otras propiedades agrícolas.

Igualmente, los estudios efectuados

muestran que las prácticas de manejo de la tierra tienen un porcentaje de disminución mucho mayor sobre las inundaciones menores, y más frecuentes, que sobre las que ocurren cada siglo, y, por lo tanto, los beneficios acumulativos se suman durante un periodo de tiempo.

No toda la investigación que se lleva a cabo en las vertientes hidráulicas es de carácter experimental. Las continuas mediciones de las corrientes, efectuadas por la inspección geológica, juntamente con las continuas mediciones de la precipitación efectuadas por la Oficina Climatológica, proporcionan un medio de relacionar el flujo de las corrientes con las lluvias en las vertientes hidráulicas que tienen dimensiones y características conocidas. Puede medirse la relación entre las lluvias y el flujo de las corrientes de las vertientes hidráulicas que difieren de tamaño, forma, utilización de tierra u otras características, y esto suministra datos para calcular el rendimiento del agua de una vertiente hidráulica para suministros municipales o para riegos, o la frecuencia con que pueden esperarse flujos de inundación de diferente volumen, cálculos que son indispensables para el diseño de estructura de almacenamiento del agua.

El agua se pierde después de que penetra en las corrientes, depósitos y zanjas de riego. Cuando escasea el agua, como ocurre en las regiones más secas de nuestros estados del Oeste, la investigación busca la forma más económica de disminuir las pérdidas. Las hierbas, desde los árboles tales como los cedros salados hasta las plantas acuáticas, consumen el agua de las corrientes y canales, y algunas de ellas disminuyen la capacidad de las zanjas. Se comparan los diferentes herbicidas, así como otros medios para controlarlas, por lo que hace a su eficacia y costo.

El agua de riego se pierde también al transportarse debido a la filtración y evaporación, y, por lo tanto, la investigación trata de encontrar medios de disminuir la filtración. Debido a su costo, ordinariamente tiene que restringirse el revestimiento de los canales a aquellas secciones en las que las pérdidas son mayores. Se han desarrollado medidores de filtración para ayudar a localizar las secciones más porosas de los canales, y se están probando materiales de revestimiento para zanjas y estructuras de transporte, por lo que hace a impermeabilidad al agua y otras características que afectan la transportación eficiente de la misma.

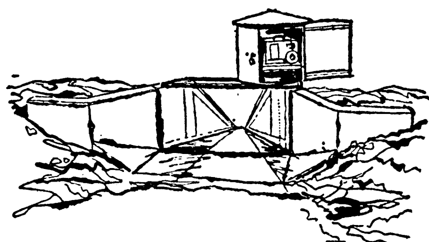
En los experimentos de laboratorio se ha disminuido considerablemente la evaporación por medio de películas de ciertas substancias químicas que sólo tienen el espesor de una molécula, y que se colocan en la superficie de un recipiente lleno de agua. El que esto tenga aplicación práctica para disminuir las pérdidas por evaporación de los depósitos, depende de las investigaciones que todavía están por efectuarse en nuestro país.

Los sedimentos depositados en los lechos de las corrientes, depósitos y canales de riego, disminuyen su capacidad de almacenamiento de agua y de transportación de la misma. En algunos sitios en los que tiene importancia esta clase de problemas, se están haciendo estudios de las fuentes, movimientos y depósitos de sedimentos como guía para la aplicación de medidas correctivas. Se están investigando métodos para disminuir el desgaste de los bordos por las corrientes, a fin de encontrar medidas prácticas para aplicarlas en aquellas corrientes en que ese desgaste es un importante origen de sedimentos. Las investigaciones que se mencionan más adelante sobre la disposición sin riesgos del desbordamiento, cuentan entre sus fines la disminución de los daños causados por los sedimentos.

Las investigaciones básicas sobre el comportamiento del agua y los sedimentos en las zanjas y otras estructuras, efectuadas en laboratorios hidráulicos como el de la Universidad de Minnesota, en Minneapolis, se llevan a cabo para mejorar el diseño de las estructuras de transporte y almacenamiento de agua.

EL AGUA DEL SUELO ES UNA FUENTE importante para usos agrícolas. Como ordinariamente se origina en la filtración profunda del agua que penetra en la tierra, cierta parte de las investigaciones mencionadas anteriormente, destinadas a hacer más lento el desbordamiento y au-

mentar la infiltración, será muy útil para aumentar la cantidad de agua que penetra en las profundidades de la tierra, así como los suministros de humedad en ella. Sin embargo, no toda esa investigación tiene ese objeto, ya que en gran parte de nuestras tierras subhúmedas o semiáridas, la humedad de la tierra se utiliza por las plantas o se evapora antes de que se



Vertedero y registrador de etapas de agua para medir el desbordamiento.

filtre a los niveles inferiores. En algunos sitios las aguas superficiales se extienden en las capas porosas arriba de las cuencas de agua del suelo, a fin de reponer los suministros de éstas que se agotan por medio de pozos. En unos cuantos sitios en donde se desea reponer el agua del suelo no existen capas muy porosas y la investigación está tratando de encontrar medios de aumentar la proporción de transmisión de agua a los niveles inferiores de las tierras de contextura más fina. En gran parte esto implica la prueba de diferentes materiales para hacer que las finas partículas de tierra se floculen en forma de gránulos, creando así mayores espacios de poros.

A pesar de lo mucho que dependemos del agua del suelo, todavía nos falta un conocimiento completo de la ocurrencia y comportamiento de sus diferentes volúmenes, y, por lo tanto, la medición y exploración de nuestros recursos de agua del suelo es una continua actividad de la investigación. Gran parte de esto se lleva a cabo por la Inspección Geológica de los Estados Unidos de Norteamérica y por las agencias estatales que cooperan con ella. Implícitos en ese programa de mediciones o estrechamente relacionados con el mismo se encuentran muchos estudios especiales para averiguar ciertos aspectos, tales como la forma en que las estructuras geológicas y las clases de roca afectan el agua del suelo y sus movimientos, el tiempo y la forma de reposición, la capacidad y rendimiento de determinadas cuencas o unidades de agua del suelo y en qué forma se relacionan sus niveles con el flujo de las corrientes. A veces se hacen estudios de las cuencas donde hay un exceso de consumo de los suministros para averiguar su monto y los medios de disminuirlos. Uno de esos estudios descubrió que las plantas que buscan el agua la desperdiciaban en algunos sitios en donde el nivel del agua del suelo se encontraba próximo a la superficie, sugiriendo esto la necesidad de desaguar la tierra y convertir su cobertura en cosechas productivas aunque no menos consumidoras de agua.

LA CALIDAD DEL AGUA, que es de importancia casi en todas partes, tiene un significado especial para la agricultura en los riegos efectuados en el Oeste, en donde son muy comunes las aguas con elevado contenido de sal. Los estudios de las fuentes de aguas superficiales y del suelo hacen posible precisar si el agua de una fuente determinada es adecuada para riegos. Esos estudios se combinan con experimentos para averiguar los efectos que tienen en tierras y cosechas las diferentes clases y cantidades de sales.

La recuperación de las aguas de desecho puede proporcionar fuentes adicionales de agua para la agricultura. En parte el problema es de calidad del agua, pero la investigación se preocupa también de los problemas mecánicos y del costo de la recuperación sin riesgos de las aguas contaminadas para riego. Las investigaciones efectuadas por la Universidad de California para la Junta de Control de Contaminación de las Aguas de California, han indicado que hay ciertas probabilidades de aumentar los suministros de agua para la agricultura, especialmente en sitios donde escasean otros suministros, mediante la reposición de agua del suelo con aguas de desecho, y en ciertas circunstancias mediante el empleo directo en los riegos de las aguas de desecho.

La obtención de agua dulce de los océanos se trata en otro de los capítulos de este libro, y en él se mencionan las investigaciones que se están efectuando para hallar un medio más económico de obtener agua dulce de los mares. Para que esas investigaciones puedan ser útiles para la agricultura, es indispensable descubrir un proceso mucho más económico que los que ahora conocemos para eliminar las sales del agua del mar. Actualmente es completamente practicable la producción de agua dulce de los mares en sitios que se encuentran al nivel del mar, que necesitan agua y que no tienen otra fuente más económica. Curazao, en las Indias Occidentales Holandesas, obtiene su agua del mar mediante destilación pero la agricultura no puede pagar tanto por el agua como lo hacen muchas industrias y municipalidades, y aun si se encontrara un medio extremadamente barato de obtener agua dulce de los mares, ésta tendría que transportarse tierra adentro hasta la mayor parte de los sitios que pudieran utilizarla.

CUÁL SEA LA MEJOR FORMA de utilizar el agua para la agricultura es algo que tratamos de averiguar por medio de la investigación. El problema de aumentar el contenido de humedad de la tierra mediante prácticas de manejo de ésta que promuevan la infiltración de las lluvias y retrasen el desbordamiento, se mencionó ya en relación con las investigaciones sobre las fuentes de agua. Naturalmente, podemos considerar ese problema, que es tanto de utilización como de consumo de agua, y como los mismos experimentos que muestran cómo aumentar la humedad de la tierra frecuentemente nos dan mediciones del desbordamiento y del rendimiento de agua de las corrientes, fue conveniente mencionarlo en la discusión de las investigaciones sobre las fuentes de agua.

A menudo la fertilidad de la tierra determina que las plantas puedan aprovechar la humedad de la misma. Por lo tanto, virtualmente todos aquellos experimentos con los que tratamos de averiguar los efectos que tiene sobre el rendimiento la adición de mayores cantidades de fertilizantes, son experimentos encaminados a emplear la humedad de la tierra del modo más eficaz; pero también se relacionan con la producción de suficientes plantas por acre para que utilicen los elementos nutritivos disponibles, así como la humedad de la tierra. Han tenido gran éxito los experimentos que prueban diferentes niveles de fertilización en combinación con diversos niveles de espaciamiento de plantas y que buscan la combinación productiva, debiéndose a estas investigaciones gran parte de los aumentos en los rendimientos del maíz en los estados del Sur en años recientes. Cuando la humedad no es un factor limitativo, como ocurre con los riegos cuanhay un suministro adecuado de agua, pueden necesitarse mayores niveles de fertilidad y población de plantas para obtener mayor producción. Por lo tanto, la investigación trata de estudiar la productividad resultante de la combinación de diferentes niveles de los tres factores, agua, elementos nutritivos de las plantas y espaciamiento de éstas. De hecho, casi todos los experimentos en los que tratamos de encontrar la combinación de prácticas que den por resultado mayor producción, se enderezan a la utilización más eficaz del agua.

EL RIEGO PROPORCIONA LA OPORTUNIDAD de mantener la humedad de la tierra aproximadamente a los niveles que puedan necesitar las cosechas. Se están efectuando estudios para averiguar la mejor forma de aprovechar el agua, qué cantidad usar y cuándo hay que aplicarla. En el Oeste se han investigado estos problemas durante un largo periodo de tiempo; pero como hay tantas combinaciones de climas, tierras, cosechas, calidades de agua y relieves superficiales, quedan todavía muchos sitios en los que hay incertidumbre sobre cuáles son las mejores prácticas .

Estamos comenzando a descubrir por medio de la investigación cómo aplicar los riegos en relación con la etapa de crecimiento de las plantas. Por ejemplo, el maíz parece necesitar más del agua entre las etapas iniciales de producción de espigas y filamentos. En un experi-

mento efectuado en North Dakota, un solo riego durante el periodo comprendido entre la primera producción de espigas y filamentos, rindió 96 bushels por acre, mientras que otros 3 riegos adicionales no pudieron aumentar el rendimiento. En experimentos semejantes efectuados en otros sitios del Oeste, fue necesario más de un riego para obtener rendimientos máximos, y en algunos casos los riegos tardíos produjeron cierto aumento en los rendimientos, lo que demuestra las variaciones en los resultados de las investigaciones de un sitio a otro.

Se están haciendo también estudios experimentales del método de aplicación del agua para riegos. Se encontró que el riego de un surco removía hasta media pulgada de tierra superficial en muchos campos de judías y papas, en el sudeste de Idaho, porque las corrientes de los surcos eran demasiado abundantes. Se están haciendo comparaciones entre los riegos por aspersión y por gravedad, a fin de averiguar cuál es el más ventajoso en condiciones específicas. Por ejemplo, en North Platte, Nebraska, se mantuvieron dos parcelas de alfalfa a niveles semejantes de humedad, empleándose en una de ellas riegos por gravedad y en la otra riegos por aspersión. Cada parcela produjo 7 toneladas de alfalfa; pero la que tenía sistema de aspersión empleó 28.4 pulgadas de agua en comparación con 32.6 pulgadas empleadas por la otra parcela. Esto no prueba que los sistemas de aspersión sean mejores en cualquier circunstancia, ya que en algunos sitios pueden ser demasiado costosos. La investigación trata de averiguar en qué circunstancias es mejor cualquier método.

Otro objetivo de la investigación consiste en averiguar la forma de impedir que se saturen las tierras de riego, y es parte de ella el diseño de los sistemas de distribución de agua para evitar filtraciones indebidas. La provisión de un sistema adecuado de desagüe es otro de sus fines, y otro más consiste en evitar el uso excesivo del agua. Sin embargo, en algunos sitios el lavado de la tierra con mayores cantidades de agua de las que necesitan las plantas puede ser indispensable para remover las sales perjudiciales de la tierra. El que esto pueda lograrse depende de la calidad del agua y de su capacidad de desagüe. Se están haciendo experimentos sobre el delicado equilibrio que existe entre esos factores.

Este problema de sales y álcalis es muy grave en algunas partes de nuestros estados del Oeste. En algunos sitios se han abandonado tierras de riego debido a las acumulaciones de sales y álcalis, sin que haya un remedio sencillo para ello. Se ha encontrado que si un alto porcentaje de las sales de la tierra o del agua es de sodio, algunas tierras tienden a congelarse, es decir se vuelven muy lentamente permeables, lo que hace difícil su lavado con aguas ordinarias de riego. Se han encontrado ciertos reformadores químicos que reemplazan una parte del sodio de las tierras obteniendo así una permeabilidad mejor; pero su empleo sólo es practicable en donde hay manera de desaguar la tierra y en donde las aguas de riego no continúan suministrando grandes cantidades de sodio. Se han iniciado algunas investigaciones sobre la forma en que se mueven las aguas a través de las tierras, a fin de ayudar a solucionar esos problemas. Se están estudiando también las complejas reacciones químicas de las tierras afectadas por la sal, con la esperanza de encontrar remedios mejores para estas dificultades. Se están haciendo también estudios para averiguar la extensión en que las diferentes concentraciones de sal causan una disminución de rendimientos de las diferentes cosechas.

Los grandes y recientes desarrollos de riego, como el de la cuenca del Columbia en el centro de Washington, están amparados por experimentos encaminados especialmente a servir de guía para los riegos en donde no ha habido experiencia previa. Se escogen granjas de desarrollo en áreas típicas y se efectúan en ellas experimentos para descubrir métodos de riego y sistemas de cultivo que sean más productivos para las clases de tierra que representan.

Se están haciendo más y más riegos en las regiones húmedas y son bien conocidos sus beneficios para proporcionar humedad durante los periodos de se-

quía, pero ocurren algunos problemas que no son comunes en las regiones áridas. Uno de ellos consiste en evitar la saturación de la tierra o su grave erosión cuando ocurren lluvias abundantes después de un riego. La investigación está atacando este problema así como el de la forma de manejar y fertilizar las cosechas para obtener las mayores ventajas del agua adicional, tratando de averiguar en qué condiciones son más ventajosas las aspersiones y cuándo son más prácticos los riegos superficiales. Se están investigando las ventajas de las diversas fuentes de agua, pozos, estanques de granja y corrientes que fluyen bajo determinadas circunstancias. Se preocupa de los problemas de diseño y funcionamiento de los equipos de riego, ya que éstos no son necesariamente ventajosos en las áreas húmedas bajo cualquier circunstancia. Mucho de esto depende del costo de desarrollo del agua en relación con el valor por acre de las cosechas y se está empleando la investigación para averiguar en qué circunstancias pueden ser ventajosos los riegos.

En muchos sitios se da atención especial a la disposición de los excesos de agua. A veces esto implica el mejoramiento del desagüe de las tierras que quedan húmedas por mucho tiempo, y de nuevo el problema principal consiste en retrasar el desbordamiento de modo que cause menos daños a las tierras y contribuya en menor proporción a las inundaciones.

Se han iniciado experimentos de desagüe para encontrar medios eficaces y económicos para la remoción de los excesos de agua de las tierras húmedas. Se estudia bajo diferentes condiciones la adaptabilidad de las diversas clases de desagües, tubos de barro, perforaciones profundas, zanjas abiertas y desagües superficiales, buscando la profundidad y espaciamiento de los desagües que sean más convenientes. En algunos sitios el desagüe superficial para evitar que los excesos de agua penetren a la tierra, ha mostrado ciertas promesas como medio de evitar procedimientos más costosos de desagüe. Por ejemplo, se ha obtenido una marcada mejoría en los rendimientos dando una ligera inclinación a los campos de caña de azúcar en Louisiana, que tienen tierras lentamente permeables, a fin de que el agua pueda correr más rápidamente. Como entre nuestras tierras húmedas hay tierras pobres y tierras buenas, uno de los fines importantes de la investigación consiste en averiguar cuánto se aumentan los rendimientos con los diferentes métodos de desagüe que se han investigado, a fin de que podamos estar seguros de que el incremento del valor de las cosechas justifique el costo de los desagües. Se buscan guías seguras para desaguar las extensas tierras húmedas, especialmente en las planicies atlánticas y costeras, ya que incluyen una de nuestras fuentes importantes de tierras de cosecha adicionales para lo futuro.

La investigación trata también de mejorar el desagüe de algunas tierras invirtiendo la deterioración de su estructura, que disminuye la permeabilidad. Las pesadas máquinas de labranza han contribuido a esa deterioración mediante la consolidación de la tierra. La pérdida de materias orgánicas durante los largos periodos de cultivo puede haber dañado también la estructura y permeabilidad de las tierras. Se están empleando en forma experimental mejores sistemas de cultivo, maquinaria de labranza mejor diseñada y reformadores de tierras que pueden modificar sus estructuras, a fin de encontrar la forma de resolver esas dificultades.

La disposición sin riesgo del desbordamiento es un problema que la investigación está tratando de resolver. En muchos experimentos medimos los efectos de varias prácticas sobre las pérdidas de tierra, así como sobre el desbordamiento. Se comparan los nuevos sistemas de cultivo y prácticas de labranza con los empleados comúnmente. Por ejemplo, en el medio Oeste se está probando el mayor espaciamiento de los surcos de maíz con fajas de legumbres y hierbas sembradas entre ellos para averiguar si con esa práctica se disminuye la erosión sin gran sacrificio de los rendimientos. Las investigaciones demostraron

que el maíz sembrado con máquinas automáticas y entre terrazas, disminuyó la pérdida de tierra en un 65%, con una disminución de 42% en el desbordamiento en las tierras de marga susceptibles a la erosión del oeste de Iowa.

A menudo se necesitan estructuras para retrasar el desbordamiento a fin de disminuir la erosión de la tierra causada por el agua, que incluyen terrazas y sus salidas, zanjas de desviación y estructuras de control de hondonadas. Se está buscando siempre el mejoramiento del diseño de esas estructuras y se prueba el comportamiento de las diferentes clases en experimentos de campo en donde puede estudiarse su combinación con las medidas vegetativas. Algunos de los principales problemas de diseño se resuelven en laboratorios hidráulicos.

Ya hicimos notar antes cómo la investigación del manejo de las vertientes hidráulicas se relaciona con el control de inundaciones, y vimos cómo la investigación hidrológica no experimental, basada en mediciones sistemáticas de la precipitación y del flujo de las corrientes, suministra datos para la predicción de las inundaciones y, por lo tanto, para el diseño de las estructuras para el control de las mismas. La investigación experimental del diseño de las estructuras de control, usando las facilidades de investigación hidráulica como las del Laboratorio de St. Anthony Falls de la Universidad de Minnesota, continúa dándonos mejores medios de evitar los daños causados por las inundaciones a la agricultura y a otras propiedades en las planicies de inundación.

A MENUDO ES TAN IMTORTANTE para los investigadores contestar la pregunta "¿Costeará?", como la otra pregunta "¿Funcionará?" Como ya vimos, el problema crítico en la obtención de agua dulce del océano para la agricultura consiste en desarrollar un procedimiento que sea lo suficientemente barato para que pueda obtenerse agua del océano a un costo inferior al que sería necesario para traerla de las fuentes naturales. El mismo principio rige en casi todos los problemas de control y utilización del agua.

Por lo tanto, los registros de los costos y dividendos de las prácticas desarrolladas por medio de la investigación, son parte importante de su labor; pero la investigación económica de la utilización y desarrollo del agua no se limita a conservar registros de sus experimentos. Algunos agricultores prueban nuevas prácticas, aunque no se hayan hecho investigaciones para averiguar si conviene emplearlas. Los agricultores de los estados del Oeste que bombean agua de una corriente o estanque para regar sus cosechas, son ejemplo de esto. El que la práctica convenga depende del costo de obtención del agua, y de las bombas y tuberías necesarias para aplicarla y del monto en que se aumenten los dividendos; pero estos son asuntos en que cada agricultor puede diferir de los demás.

Al analizar la experiencia de muchos de ellos, la investigación económica trata de encontrar en qué circunstancias ha sido grande o pequeño ese aumento de dividendos. El conocimiento de esas circunstancias puede ayudar a otros agricultores a tomar decisiones sobre riegos, sin incurrir en riesgos innecesarios.

Se pide que la investigación económica sobre el desarrollo y utilización del agua conteste no sólo la pregunta "¿Costeará?", sino también las de "¿A quién beneficiará?", "¿Cuánto?" y "¿Cuando?"

A veces se construyen los depósitos de almacenamiento y otras obras para la utilización y control del agua por agencias gubernamentales locales, estatales o federales, más bien que por agricultores individuales, cuando la empresa es un problema comunal. Se están haciendo estudios sobre la forma en que puede repartirse equitativamente el costo de esas obras públicas entre los grupos de beneficiarios, así como para comparar la proporción entre los beneficios y los costos de los diferentes planes para la utilización y control del agua, a fin de ayudar a la elección de los proyectos alternativos que proporcionen los mayores beneficios netos, teniendo en cuenta la prontitud con que los mismos se acumulen. Se está estudiando también la forma en que nuestras diversas leyes hidráulicas

estatales facilitan o estorban la utilización del agua en la agricultura.

No DEBEMOS ABANDONAR el asunto de la investigación sin señalar el valor de nuestro sistema nacional de clasificación de tierras y preparación de mapas para extender sus resultados. Sin ellos tendríamos que probar experimentalmente todas las nuevas prácticas, como las que implican el desagüe o los riegos, en casi todos los campos, antes de que pudiéramos estar seguros de su aplicación. Con ellos sabemos por lo menos cuáles tierras son semejantes a la de las parcelas o campos experimentales, y podemos tener cierta seguridad de que una nueva práctica no fallará debido a diferencias en las tierras.

CARLETON P. BARNES *es miembro del personal de la Administración del Servicio de Investigación Agrícola y secretario ejecutivo del Comité Consultor sobre Investigaciones de Tierras, Aguas y Fertilizantes del Departamento, siendo miembro del mismo desde 1929.*

La investigación, clave para el futuro

Robert M. Salter y Omer J. Kelley.

LA INVESTIGACIÓN ES EL ORIGEN del progreso. Los adelantos actuales se iniciaron en las investigaciones de los años anteriores. Los desarrollos del manñana son resultados de las investigaciones que hoy se planean. Esto es cierto en muchos de los aspectos de los negocios, de la medicina, de la agricultura y otras actividades del hombre, y sucede lo mismo con el agua.

Los problemas conocidos que deben resolverse por medio de la investigación, si ha de convertirse en realidad el uso eficiente del agua en la agricultura, son de tres tipos generales:

Investigaciones relacionadas con los problemas hidráulicos que se refieren a toda clase de tierras agrícolas.

Problemas que se relacionan con la producción de cosechas, e investigación sobre las vertientes hidráulicas.

Las investigaciones hidráulicas básicas se relacionan con la eficiencia de la utilización del agua por las plantas; con la naturaleza de los depósitos de humedad de la tierra y su capacidad, reposición y descarga, y con los aspectos meteorológicos.

El grado de eficiencia con que las plantas utilizan el agua de la tierra se rige por la proporción en que transpiran el agua mientras producen una cantidad unitaria de crecimiento; por la capacidad de las plantas para crecer bajo condiciones adversas de suministros de agua, y por la capacidad de las raíces para penetrar en la masa de tierra y absorber el agua.

Un ejemplo de cómo varían las cosechas en sus proporciones de transpiración nos lo da el mijo, que produce una libra de materia seca con sólo 300 libras de humedad de la tierra, y la alfalfa, que bajo las mismas condiciones sólo emplea aproximadamente 1,000 libras de agua. Algunas plantas se marchitan gravemente, se secan y eventualmente mueren durante un prolongado periodo de sequía. Otras sólo sufren un marchitamiento y enrollamiento moderado de sus hojas y renuevan su vigoroso crecimiento cuando se repone la humedad de la tierra.

Necesitamos saber mucho más sobre los procesos fisiológicos que permiten que las plantas sobrevivan durante graves deficiencias de agua y sobre los factores genéticos que puedan quedar comprendidos en este atributo. Necesitamos investigaciones que ayuden a los cultivadores de plantas a desarrollar variedades que tengan mayor capacidad de subsistencia durante las graves sequías con un mínimo de efectos adversos.

La disponibilidad del agua para las plantas en tierras saladas puede quedar seriamente afectada debido al aumento en la presión osmótica de las soluciones de la tierra. No entendemos muy bien todavía la genética fisiológica relacionada con la tolerancia de las plantas en esas condiciones, pero necesitamos mejores variedades que sean resistentes a la sal.

Se sabe relativamente poco sobre la relación existente entre los grados de es-

casez de humedad de la tierra y el crecimiento de las plantas de cosecha en sus diversas etapas. Especialmente necesitamos saber el efecto real sobre la producción de cosechas de las grandes variaciones de las escaseces de humedad durante las diversas fases de crecimiento. Sería de gran importancia económica la selección de variedades especialmente tolerantes en una amplia gama de escasez de humedad durante los períodos críticos de crecimiento.

Igualmente se necesita información sobre la capacidad de las plantas para resistir los efectos adversos de las tierras húmedas e inundadas que tienden a asfixiar las raíces debido a la falta de ventilación.

Las raíces de las vides en el valle de San Joaquín, en California, pueden penetrar hasta una profundidad de 40 pies. Las raíces de las papas en esa misma área pueden quedar confinadas a los primeros dos pies de tierra, y la capacidad de las raíces de una determinada variedad de cosecha para penetrar en la tierra puede constituir una enorme diferencia en el depósito de humedad de la tierra del que obtienen su subsistencia. Las raíces de la hierba Bermuda se multiplican extensamente y parecen penetrar a cada parte de la masa de tierra. En cambio, las raíces del apio se multiplican escasamente y el cultivo para desarrollar sistemas de raíces más eficaces puede ser la solución para aumentar la capacidad de las cosechas y su utilización eficiente del agua y para que puedan resistir en esa forma a las sequías.

Hay también gran necesidad de información sobre la proporción en que el agua se mueve en el área unitaria de una determinada clase de raices cuando se mantienen en la tierra por determinados niveles de fuerzas retentivas: ¿Cuál es la gama de la fuerza de absorción de agua de las raíces de las plantas de cosecha contra las fuerzas de retención de la tierra? ¿Cómo se relaciona esa fuerza de absorción con el potencial de crecimiento de las plantas?

La capacidad del depósito de humedad de la tierra se determina por la masa total de tierra en la zona efectiva de raíces de una cosecha determinada y la cantidad de agua disponible que puede ser retenida por una porción unitaria de esa tierra. Por lo tanto, los suelos de arado, los mantos de arcilla y otras capas impermeables que restringen la penetración de las raíces, limitan también la capacidad utilizable del depósito de humedad de la tierra. Puede aumentarse el suministro de agua disponible para las cosechas en muchas tierras difíciles, si la investigación enseña a los agricultores cómo ciertas prácticas de manejo y operaciones de labranza afectan la capacidad de las raíces de las cosechas para penetrar a horizontes más profundos.

Algunos términos que usamos para describir la humedad de la tierra no son todavía lo suficientemente precisos. Empleamos el término "gama disponible" para definir la diferencia que existe entre el porcentaje de agua retenido a capacidad de campo y el que se retiene al porcentaje permanente de marchitamiento pero la capacidad de campo no es una medida exacta de cantidad, ya que el valor del concepto depende de los métodos y condiciones de medición. Sin embargo, es una idea útil para el manejo de las tierras, y las investigaciones ulteriores deben enderezarse hacia la evaluación cuantitativa de la capacidad de campo o algún otro constante comparable de humedad de la tierra. Hay pruebas de que en algunas tierras el porcentaje permanente de marchitamiento corresponde con mayor precisión a una tensión de humedad de 4-6 atmósferas que a la cifra más o menos aceptada de 15 atmósferas. Necesitamos datos completos sobre la tensión de humedad de varias tierras que corresponda al nivel inferior de humedad fácilmente disponible para diferentes clases de plantas.

Gran parte de nuestras prácticas de riego se basan en el concepto de que el agua de la tierra que queda retenida dentro de la gama disponible, sin que importe cuál sea su posición dentro de ella, queda igualmente disponible para todas las plantas de cosecha. Se ha encontrado cierta evidencia que no apoya esta opinión. Como la disponibilidad del agua del suelo es la clave para los riegos, ne-

cesitamos datos precisos sobre la disponibilidad del agua en toda la gama de disponibilidad en términos del crecimiento de varias plantas, y de cómo se modifica con el tipo y condiciones de la tierra. Además, sabemos que las sales disueltas en las soluciones de la tierra afectan la disponibilidad del agua debido a su efecto en la presión osmótica de la humedad de la tierra; pero necesitamos mayor información sobre la reacción de las cosechas a la disponibilidad del agua cuando queda disminuida por las sales en comparación con la fuerza superficial de las partículas de tierra.

La reposición de los depósitos de humedad de la tierra es la consideración principal en la agricultura de riego; pero no es menos importante en las áreas que no son de riego, tanto en la labranza de tierras secas como en la de las regiones húmedas, e implica un complejo de factores que afectan el movimiento del agua dentro de la tierra y a través de ella: Calidad del agua, mineralogía de la tierra, características químicas de la tierra, aspectos estructurales, incluyendo estratificación, relaciones de energía del agua de la tierra e hidrología del agua del suelo. Hay necesidad de investigar a fondo las relaciones que existen entre ellos, a fin de que los agricultores y técnicos puedan comprender mejor cómo afectan la entrada del agua en la tierra y su movimiento a través de ella.

El exceso de desbordamiento durante las tormentas, con la erosión e inundaciones consiguientes, se relaciona directamente con la proporción de infiltración, y ocurre lo mismo con la reposición de nuestros suministros de agua del suelo. Son también contingentes sobre la proporción de infiltración los sistemas de cultivo en los declives, el estancamiento de los campos ondulados durante los periodos lluviosos, el diseño de terrazas, la construcción de represas para el control de las inundaciones corriente arriba, el diseño de los sistemas de riego por aspersión, las prácticas de manejo en la labranza de tierras secas y el diseño y funcionamiento de los sistemas superficiales de riego. Sin embargo, los medios actualmente disponibles para la medición de la proporción de infiltración no son satisfactorios. En esto, como en muchas otras fases de la investigación, necesitamos implementos y métodos que nos den mediciones precisas en el campo.

Necesitamos también este tipo de información para otro objeto. El movimiento del agua hacia abajo a través de la tierra tiene una función importante además de la de volver a llenar el depósito de humedad del suelo, ya que remueve también las acumulaciones perjudiciales de sales solubles que pueden ir en aumento debido a los excesos de fertilización o de riegos.

Las necesidades de la investigación en relación con la producción de cosechas en las granjas, pueden dividirse en problemas que afectan a los riegos, a los sistemas de labranza de tierras secas y a condiciones húmedas y subhúmedas.

En los riegos, las necesidades de investigación que se relacionan con la producción de cosechas incluyen problemas relacionados con el suministro de agua, con su transportación, incluyendo tiempo, métodos y cantidades de riego y eficiencia de aplicación, y con el desagüe de los excesos de agua.

La descarga de agua del depósito de humedad de la tierra no es menos importante que su reposición. Las pérdidas de agua en las zonas de raíces ocurren de dos maneras, las raíces de las plantas y la filtración hacia abajo. Nuestra evidencia indica que aunque la tierra parezca quedar completamente penetrada de raicillas, menos de 1% de las partículas de tierra pueden quedar realmente en contacto con las raíces. Cuando éstas agotan la humedad de la tierra, más del 90% de las moléculas de agua tienen que moverse sobre la superficie de las partículas de tierra hasta la superficie de las raíces. Se considera ínfima la proporción de movimiento de agua en las tierras, a contenidos de humedad inferiores a su capacidad de campo. Sin embargo, ocurre un movimiento adecuado. Necesitamos un estudio cuantitativo de este fenómeno, a fin de saber cuánta humedad de la tierra queda disponible para las raíces de las plantas.

La filtración del agua hacia abajo es

la clave para aliviar las altas mesetas de agua, las tierras saturadas y el lavado de los excesos de sales solubles. Las operaciones de desagüe todavía se llevan a cabo en forma más o menos empírica, y en este importante campo de acción necesitamos el apoyo de las investigaciones fundamentales que nos permitan evaluar con toda precisión la facilidad del movimiento del agua y los factores relacionados que afectan el desagüe.

Hay que aclarar los aspectos meteorológicos que afectan a la agricultura.

Por lo que hace a la siembra de nubes, en testimonios relacionados con la Ley 285 del Senado, del Octogésimo Segundo Congreso, la Fundación Nacional de la Ciencia informó lo siguiente: "Los recientes desarrollos de los estudios de la formación de núcleos en las nubes y de la siembra experimental de nubes superenfriadas, indican que pueden ser posibles las modificaciones artificiales significativas del clima. Los estudios actuales, suplementados por la experimentación de campo, no constituyen una base satisfactoria para afirmar que actualmente es factible la amplia aplicación de los esfuerzos para modificar el clima... En la mejor planeamiento de las operaciones. en el incremento de la investigación básica sobre los procesos de formación de laboratorio, para obtener la comprensión de los procesos de formación de núcleos mediante los cuales se compensa la humedad, como en el campo, para investigar los procesos naturales de formación de núcleos en las nubes. Es también necesaria y deseable la experimentación controlada de campo que aplique los conocimientos así obtenidos a la comprensión más eficaz y a la utilización práctica de la formación de núcleos en las nubes."

Debe darse también atención especial a los datos climatológicos, siendo de especial interés las características de las tormentas, tales como duración, cantidad de lluvia en determinados periodos, distribución superficial de las lluvias y ocurrencia estacional en diferentes regiones climatológicas o fisiográficas. Debe investigarse la posibilidad de desarrollar un método de expresar la frecuencia de las tormentas en relación con su distribución superficial. Esta información tendría gran valor práctico en el desarrollo de cálculos precisos de flujos máximos y rendimientos de agua en las vertientes hidráulicas en donde no existen registros adecuados.

Es necesario investigar la forma de mejorar la precisión de las predicciones a corto y a largo plazo. Esto implicará una mejor comprensión de las condiciones existentes entre los niveles superiores de la circulación de aire y las lluvias. Se necesitan máquinas computadoras de alta velocidad para poder emitir predicciones precisas.

Han ocurrido cuatro sequías principales en las Grandes Planicies desde 1880, y las tres primeras estuvieron seguidas de un periodo de lluvias. Se necesita información sobre la ocurrencia de periodos de sequía y de humedad en las Planicies. Las predicciones precisas de esos periodos y de su duración ayudarían a obtener un actualidad, la mayor necesidad consiste

El costo de extracción de agua dulce del agua del mar por medio de los procesos básicos ya existentes, excede de las inversiones que se consideran económicamente factibles para utilizarse extensamente para suministrar agua para riegos y usos municipales o industriales en los Estados Unidos de Norteamérica.

Se necesitan investigaciones ulteriores basadas en los resultados obtenidos en los trabajos que se están efectuando y en los nuevos proyectos que dependen de fenómenos de comportamiento del agua que no se han explicado hasta la fecha, destilación por comprensión de vapor, membranas eléctricas, membranas osmóticas, destilación solar, destilación por diferencia de bajas temperaturas y aparatos de presión crítica. Dependiendo de los resultados obtenidos con las investigaciones iniciales, pueden necesitarse desarrollos adicionales en los métodos de congelación, extracción de solventes y mejoramientos en la destilación convencional. Otras investigaciones que probablemente necesitan mayores trabajos incluyen las substancias de intercambio de iones, unidades de membranas osmóticas y la utilización de la energía geotérmica, solar y de los vientos.

Se necesitan mejores métodos para la predicción de los suministros de agua con relación a la cantidad de agua disponible en cualquier año dado, el tiempo de disponibilidad y la calidad y estabilidad de los suministros durante cierto período, y esa necesidad es mayor en las áreas más húmedas, en las que el agua de riego puede depender del almacenamiento superficial de las granjas o en pequeños ríos o arroyos. ¿Cuál es el efecto del almacenamiento de granjas y de la utilización del agua de los arroyos y pequeños ríos sobre el flujo y disponibilidad del agua más hacia abajo en las grandes corrientes? ¿Afecta a las mesetas de agua en áreas inmediatas o en otras? ¿Qué cantidad de agua puede utilizarse y cuándo, sin que se perjudiquen otros derechos de agua? Debemos tener respuestas a estas preguntas antes de que la máxima utilización del agua pueda convertirse en realidad. Los agricultores no pueden desarrollar sistemas de riego si no saben la cantidad y estabilidad de los suministros de agua y si no quedan garantizados sus derechos.

En el Oeste se usa extensamente el agua del suelo, y en algunos sitios los excesos de consumo han causado grandes pérdidas económicas. En otros sitios se han descuidado los recursos de agua del suelo y ésta no se ha utilizado, aunque se han invertido grandes sumas para asegurar su almacenamiento en depósitos superficiales. En algunas áreas en las que existen graves problemas de desagüe, la utilización del agua del suelo para riegos sería muy ventajosa para proporcionar una mejor distribución estacional de los suministros de agua, mediante intercambios que harían que el agua quedara disponible para superficies adicionales de tierra que necesitan demasías de agua que disminuirían considerablemente el problema del agua.

La investigación es esencial para determinar la posibilidad de los bombeos, la extensión del agua del suelo y la eficacia de los bombeos para el control de la meseta de agua. Esa investigación debe incluir la reposición del agua del suelo en aquellas áreas en donde ésta se ha desarrollado en exceso. La falta de investigación adecuada es la razón primordial del exceso de desarrollo en muchas de las áreas de agua del suelo y de su falta de desarrollo en otras. Se necesita un estudio cuidadoso de muchos problemas antes de que sea posible hacer recomendaciones generales.

Entre esos problemas se cuentan los siguientes: La posibilidad de bombear en áreas especiales que quedan influenciadas por la ocurrencia, permeabilidad y extensión de los acuíferos de agua del suelo; la profundidad de la meseta de agua y de los acuíferos; los efectos del bombeo sobre el control del desagüe del agua del suelo, y la calidad de ésta. Otros problemas consisten en el efecto del bombeo sobre los derechos de agua ya existentes; los factores hidráulicos de los pozos, incluyendo los principios económicos básicos que se aplican al desarrollo de suministros de agua del suelo; los métodos de aumentar la infiltración y permeabilidad del agua a través de la tierra, los de recargar los depósitos de agua del suelo y los de impedir la invasión de las sales.

Los problemas de transportación del agua ocurren en dondequiera que se practiquen riegos. En las regiones de riego del Oeste, donde el agua se transporta principalmente por medio de canales, por lo menos el 25% de ella puede perderse por filtración desde que se toma de los ríos hasta que se entrega en los campos. El agua que se pierde en esa forma sería suficiente para regar 6 millones de acres adicionales de tierra, que constituyen una pérdida para el usuario potencial y a menudo son causa principal de daños debido a la creación de altas mesetas de agua. Necesitamos encontrar la manera de disminuir esas pérdidas. En algunas áreas el agua se transporta por medio de tuberías o canales; pero estos métodos son costosos y otros que necesitan explorarse incluyen la utilización de terrazas y de sistemas de contorno para transportar y distribuir el agua.

La aplicación del agua es una de las principales preocupaciones de los agricultores. Es indispensable conocer la utilización de consumo del agua y los factores que la afectan de acuerdo con las diversas cosechas, porque determinan la cantidad necesaria para la producción de cada una de ellas y porque tienen impor-

tancia para establecer los límites en los diseños de los sistemas de riego. Se necesita información sobre el total de la utilización de consumo, las proporciones diarias y el estado de la humedad de la tierra y sus relaciones. Esa información puede hacer que se pueda predecir con anticipación el tiempo de los riegos cuando no ocurren lluvias. En áreas con buena precipitación, las predicciones precisas a corto y largo plazo son indispensables para las buenas prácticas de riego.

Deben evaluarse las relaciones existentes entre la tierra, el agua y las plantas, a fin de saber cuándo regar, cuánta agua hay que aplicar y en qué proporción, ya que varían con respecto a las cosechas, las tierras y el clima. Hay pocos datos básicos disponibles sobre estos factores que afectan las proporciones de infiltración y que pueden variar hasta en varios cientos de puntos de porcentaje de acuerdo con la tierra, estación, tipo de cobertura de cosecha y prácticas de cultivo y de manejo. Sin embargo, los sistemas de de filtración como uno de los factores determinantes, y, por lo tanto, es muy importante conocer los factores que afectan la infiltración y cómo mantener su proporción dentro de una gama conveniente.

El desagüe de los excesos de agua de la tierra puede ser de gran importancia en cualquier parte. En las regiones de riego a menudo es difícil para los agricultores separar el problema de desagüe de los de salinidad y alcalinidad que ordinariamente se relacionan con dificultades de desagüe. Sin embargo, éste no es siempre el caso. En muchas tierras de riego del Oeste, el desagüe subterráneo es insuficiente para proporcionar el libre flujo del agua, lo que resulta en un aumento de la meseta de agua, cosa que a su vez aumenta casi siempre el contenido de sales y álcalis de la tierra. El desagüe es parte importante para el éxito de todo proyecto de riego. Las aguas del suelo se acumulan en las áreas más bajas de casi todos los proyectos de riego, excepto en unos cuantos sitios en donde es adecuado su desagüe natural en los grandes ríos, canales o tributarios.

En unos 30 millones de acres de tierras húmedas del Sur y del medio Oeste podemos encontrar problemas de desagüe que requieren gran énfasis en la investigación básica en el campo de las relaciones existentes entre la tierra, el agua y las plantas. Sin embargo, será necesaria la aplicación de los resultados a determinadas condiciones de sitio y suelo y su reducción a la práctica, porque la remoción del agua del suelo depende de sus características. Las condiciones locales determinarán cuál método de desagüe es más eficaz. En las áreas del Oeste, donde las condiciones permiten su desarrollo, el bombeo por medio de pozos ha constituido un medio eficaz y económico; pero se necesita mayor información para determinar el grado de éxito que debe esperarse antes de que se perfore un pozo. Se necesitan también mayores datos sobre los efectos de diversos filtros de grava y los de las variaciones de las diferentes técnicas de relleno.

Necesitamos saber más sobre la conveniencia de desaguar algunas tierras húmedas, y si no sería mejor considerarlas primordialmente como productoras potenciales de fauna.

Las investigaciones necesarias en la agricultura de tierras secas se refieren a problemas de conservación de humedad y su utilización eficiente, y al control de la erosión. Como a menudo la humedad es el factor limitativo primordial en la producción de cosechas en muchas de las áreas de tierras secas del Oeste, los estudios deben tratar de encontrar métodos más eficaces para llevar el agua a la tierra y disminuir las pérdidas de almacenamiento. El mantenimiento de la materia orgánica de las tierras a un nivel óptimo se relaciona con la proporción de infiltración, capacidad de retención de agua y disminución del desbordamiento. En muchas partes del Oeste puede perderse por evaporación de 60 a 70% de las lluvias, y se necesitan estudios sobre la utilización y conservación de la humedad de la tierra, que deben incluir medidas para desarrollar sistemas de cultivo y prácticas de labranza que permitan la utilización más eficiente del agua, así como medios para seleccionar o cultivar cosechas cuyos requerimientos de agua

sean menores y que utilicen la humedad cuando esté disponible.

La conservación del agua y el manejo de sus excesos son los problemas principales que necesitan investigación en las regiones húmedas y subhúmedas. Aunque en ellas la precipitación suministra más agua de la que necesitan las cosechas, su distribución o intensidad son tales que generalmente ocurren periodos de sequía en ciertas etapas de la estación de crecimiento. El primer problema consiste en aumentar la proporción de infiltración a fin de que penetre más agua en la tierra. Necesitamos más información sobre el papel de ciertas cosechas específicas, rotaciones, abonos superficiales y prácticas de cultivo para incrementar las proporciones de infiltración, así como los efectos de los diversos grados de nivelación, terracerías y formación de tierras para la retención del agua y su proporción de absorción. Contando con maquinaria moderna, con fertilizantes suficientes y con plantas o substancias químicas que acondicionen la tierra ¿qué grado de nivelación es posible en tierras altamente desarrolladas? ¿Cuál es la economía de esas prácticas?

En partes de la zona húmeda, algunos meses del año son húmedos y otros son secos. Los agricultores necesitan plantas de cosecha que toleren condiciones de humedad y otras que resistan las de sequía, debiendo sembrarse las cosechas de acuerdo con sus requerimientos de agua. Estos problemas se han investigado muy poco.

Las investigaciones relacionadas con las vertientes hidráulicas se ocupan principalmente de medir y determinar el flujo de las corrientes, el rendimiento del agua y la sedimentación. Su propósito consiste en obtener el manejo adecuado de la vertiente hidráulica a fin de obtener una reducción del flujo máximo, el máximo rendimiento y un suministro de ella que pueda predecirse.

En una vertiente hidráulica bien manejada debe ser posible predecir el flujo máximo de cualquier tipo dado de tormenta y la frecuencia de los diferentes flujos máximos.

Nuevamente repetimos que la proporción de movimiento del agua en la tierra y a través de ella tiene gran importancia. Con frecuencia las proporciones de infiltración son más bajas que las de precipitación y ocurre el desbordamiento antes de que se llene la zona de raíces. Como ya hemos indicado, se necesitan investigaciones básicas para encontrar medios de aumentar la infiltración, ya que si penetra más agua en la tierra habrá menos desbordamiento inmediato y se disminuirá el flujo máximo de la corriente en la que desagua la tierra.

Se necesita investigación sobre los efectos de los diferentes tipos de cobertura con relación a su capacidad de interceptar y retener la precipitación con relación a su capacidad para mejorar las proporciones de infiltración.

Es necesaria la investigación para determinar los efectos de las terracerías, contornos, formaciones de tierra y vías de agua sobre la proporción de absorción de agua de las tierras, sobre el desbordamiento y el flujo máximo. El pequeño desbordamiento de una granja puede no tener importancia, pero puede tenerla corriente abajo cuando se multiplica por el número de granjas de una vertiente hidráulica. Es muy importante conocer los efectos de las diferentes especies de árboles, así como de su edad, densidad, cortas y otras prácticas de manejo, sobre la interceptación del agua y de las nieves, el desbordamiento y el rendimiento total de agua. Los factores que afectan ese rendimiento son semejantes a los que afectan la proporción de flujo de las corrientes, aunque hay ciertos aspectos diferentes de los dos problemas. En las áreas donde hay gran demanda de agua corriente abajo, los usuarios del agua preguntan a menudo si las prácticas de conservación que se efectúan corriente arriba disminuyen el rendimiento total de agua en perjuicio de ellos.

La necesidad del estudio de la sedimentación de las vertientes hidáulicas se refleja en los grandes daños que ocurren cuando los materiales producidos por la erosión se arrastran hasta los sistemas de las corrientes y se depositan en los lechos de los ríos, en las calles de las ciudades, en los depósitos de almacenamiento o en otros sitios. Hay necesidad de conocer la

susceptibilidad de las tierras a la erosión bajo las diferentes condiciones de precipitación, cobertura, declive, velocidad de flujo y prácticas de manejo. La erosión de los lechos de las corrientes y de sus bordos son problemas adicionales cuyas causas y medidas correctivas no conocemos todavía completamente.

La transportación de los sedimentos se determina por el tipo de materiales, tamaño, dispersión y velocidad de la corriente, incluyendo su turbulencia. Se necesitan investigaciones sobre estos diversos factores que afectan la carga de las corrientes y su depósito.

MUCHOS DE LOS PROBLEMAS de depósito están asociados con los de la erosión y transpiración. Los ingenieros no saben todavía todo lo que necesitarían sobre la proporción, patrón de depósito y densidad de los materiales depositados. Debe reconocerse que la sedimentación de los lagos, depósitos y estanques necesitan información adicional, a fin de que puedan hacer predicciones útiles sobre las tolerancias adecuadas de sedimentación al diseñar depósitos.

Deben obtenerse datos de rendimiento de depósito para las diferentes vertientes hidráulicas y sus detalles deben correlacionarse con las condiciones de erosión, topografía, tierras, canalizaciones, tamaño y otras características de las vertientes hidráulicas. Esa información es indispensable para la selección de sitios y el diseño de las estructuras de control necesarias.

UNA CARACTERÍSTSCA de la investigación sobre las vertientes hidráulicas consiste en que es un trabajo a largo plazo. Como las investigaciones de la labranza de tierras secas necesita averiguar las diferentes condiciones de clima, y esto toma tiempo. Es también un tipo de investigación que no puede cubrir todas las condiciones locales y, por lo tanto, es muy importante que se determinen los factores básicos y sus relaciones, a fin de que los valores de extrapolación y predicción tengan el grado de predicción necesario.

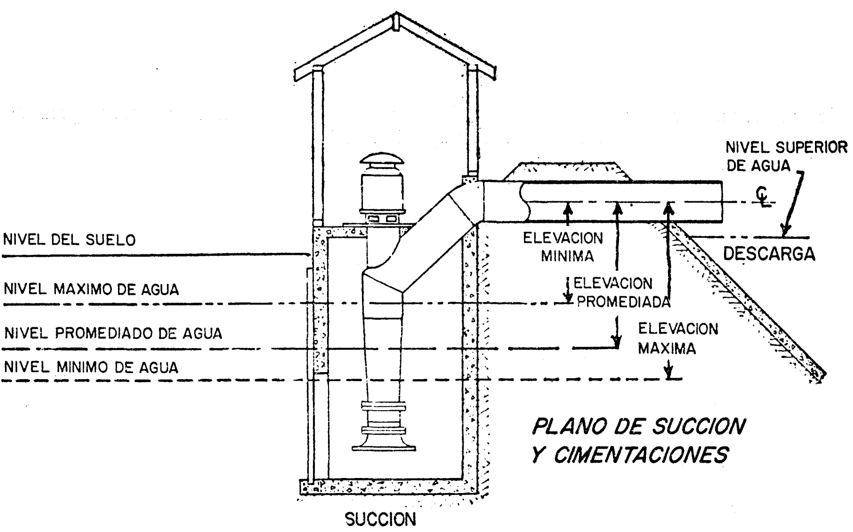
Las investigaciones ulteriores en hidráulica permitirán el desarrollo de estructuras de bajo costo para el manejo del agua. Donde falta información hay el peligro de que ocurran excesos de diseño con la consiguiente elevación de costos, o que ocurran omisiones de diseño que resulten en fallas. Las necesidades específicas de la investigación se relacionan con el retraso del flujo del agua, incluyendo las estructuras para el control de la erosión, tales como estructuras de caída, vías de agua, alcantarillas y salidas de contrapeso; facilidades para el almacenamiento de agua, tales como estanques de granjas y depósitos para riegos; estructuras de riego y de desagüe, incluyendo canales, zanjas, presas de retención, vertederos, espitas, canalones y otras instalaciones de medición, así como trampas de sedimento.

El agua es uno de los muchos materiales que el agricultor tiene que considerar en el manejo de sus granjas y no puede hacer cambios importantes en la utilización y conservación de la misma sin hacer otros cambios en su manejo. Si se efectúa una labor adecuada de investigación, deben considerarse todos estos factores, desarrollando el mejor plan general de acuerdo con sus aspectos económicos. La combinación de los resultados de las diversas líneas específicas de investigación en un sistema total de manejo implica en sí mayores investigaciones, y éstas pueden efectuarse mejor mediante el empleo de granjas piloto, que dan oportunidad de buscar las mejores combinaciones de prácticas y determinar los sistemas más económicos.

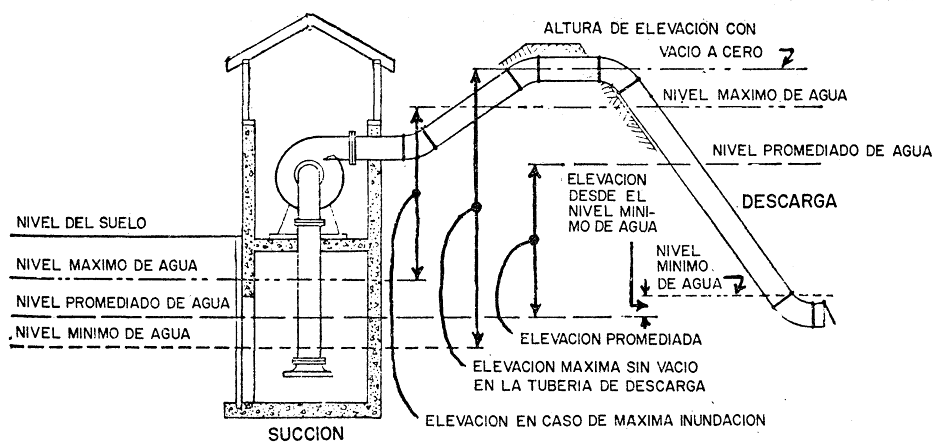
ROBERT M. SALTER *fue jefe de la Rama de Investigaciones y Conservación de Aguas hasta antes de su muerte, el 13 de septiembre de 1955, y estuvo encargado de las investigaciones del Servicio de Investigación Agrícola sobre manejo de tierras y aguas, hidrología de vertientes hidráulicas, trabajos básicos sobre relaciones de tierras y plantas y tecnología de fertilizantes.*

OMER J. KELLEY, *como jefe de la Sección Occidental de Manejo de Tierras y Aguas del Servicio de Investigación Agrícola, supervisa las investigaciones sobre el manejo de tierras y aguas y las prácticas de conservación en los 17 estados del Oeste.*

Apéndice

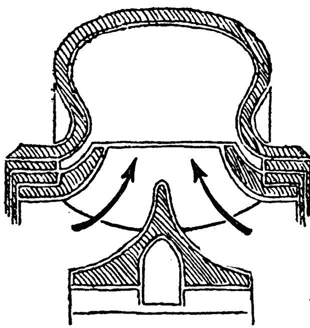


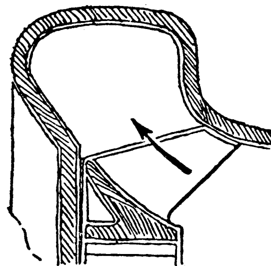
PLANO DE SUCCION Y CIMENTACIONES

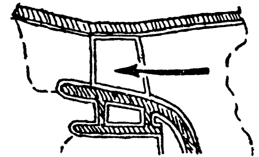


ELEVACION DE UNA PLANTA BIEN CONCEBIDA

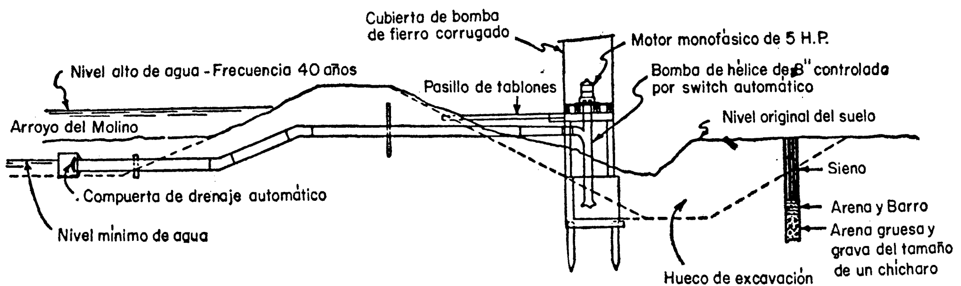
(Véanse págs. 528-538.)



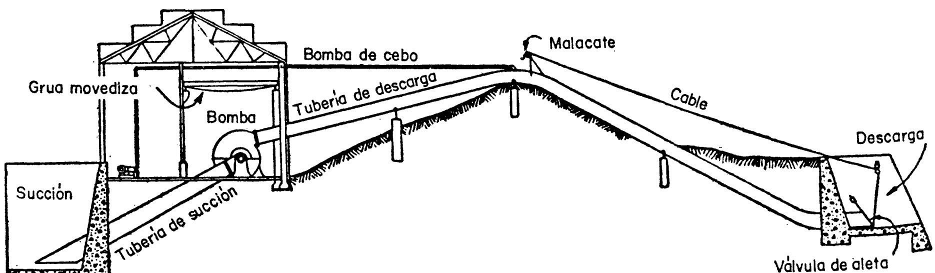




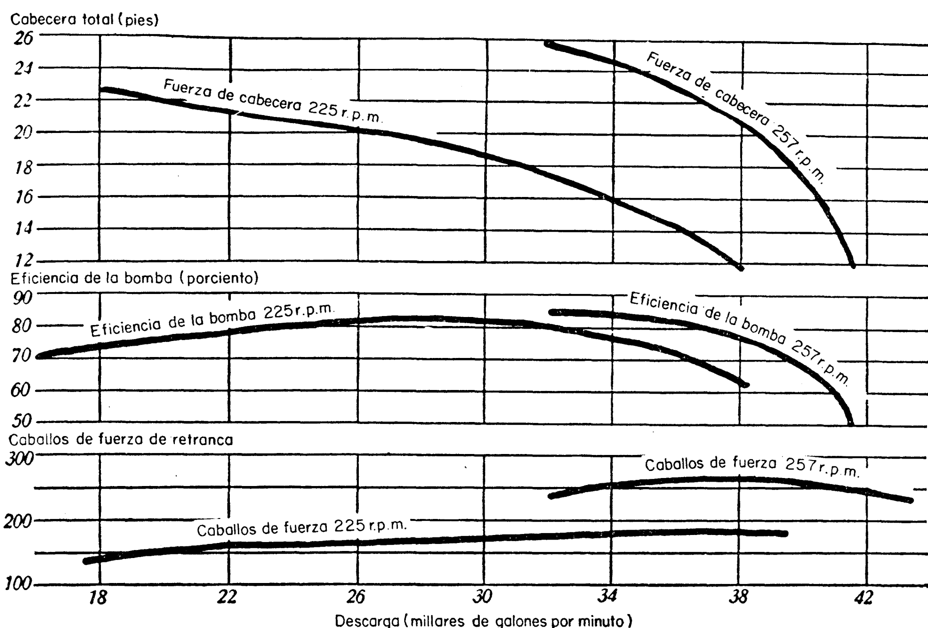
Los dibujos muestran el funcionamiento de los implementos de las bombas empleadas para desagüe. (Véanse págs. 528-538.)



Corte de una planta bien diseñada para bombeo de granja. Distrito Central de Conservación de Tierras Lapper, Michigan. (Véanse págs. 528-538.)



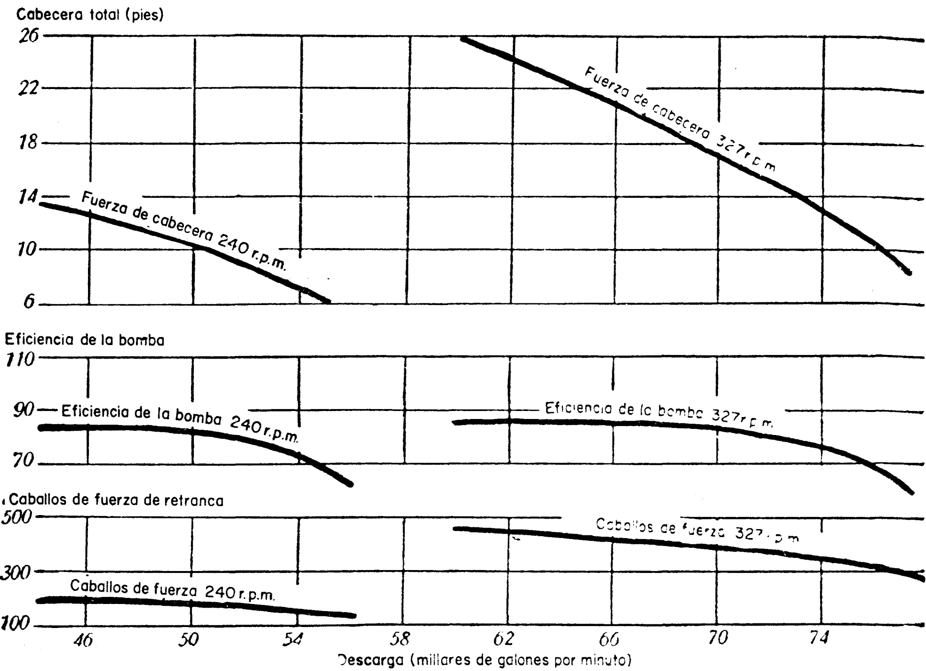
Corte de una planta de bombeo bien diseñada. Pozo de succión y salida de descarga reforzada. (No se muestran los pilotes.) Tubo de succión inclinado. Tubo de descarga sobre la parte superior de la represa, con codos de gran radio. Soporte para levantar la válvula manual de compuerta. (Véanse págs. 528-538.)



Curvas de características de una bomba centrífuga. Pruebas de campo de bombas de 36 pulgadas, condado Adams, Illinois. (Véanse págs. 528-538.)

Cabecera total (pies)
20
16
12
8
4
0
Fuerza de cabecera 228 r.p.m.
Fuerza de cabecera 195 r.p.m.
Fuerza de cabecera 257 r.p.m.
Eficiencia de la bomba
100
60
20
0
Eficiencia de la bomba 195 r.p.m.
Eficiencia de la bomba 257 r.p.m.
Eficiencia de la bomba 228 r.p.m.
195 r.p.m.
228 r.p.m.
Caballos de fuerza de retranca
240
160
80
0
Caballos de fuerza 228 r.p.m.
Caballos de fuerza 257 r.p.m.
Caballos de fuerza 195 r.p.m.
22
26
30
34
38
42
46
50
Descarga (millares de galones por minuto)

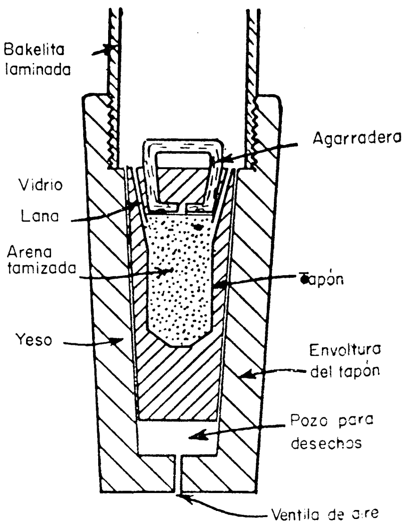
Curvas de características para bomba de "tornillo sin fin" de tipo hélice. (Véanse págs. 528-538)



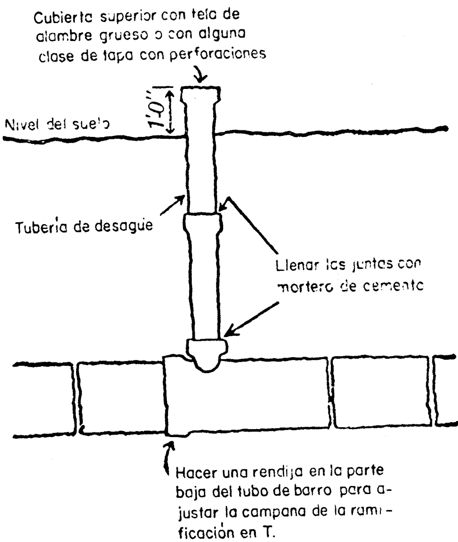
Curvas de características de bomba de flujo mixto. Pruebas de campo de bomba de 48 pulgadas, condado Green, Illinois. (Véanse págs. 528-538.)



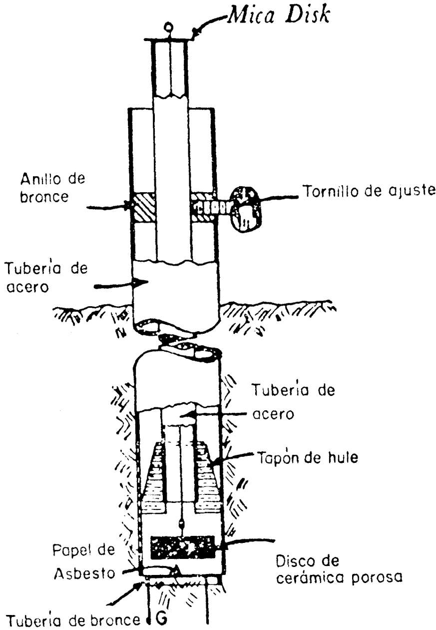
Unión de tubos de ladrillo usando conexiones en Y y en T. (Véanse págs. 508-520.)



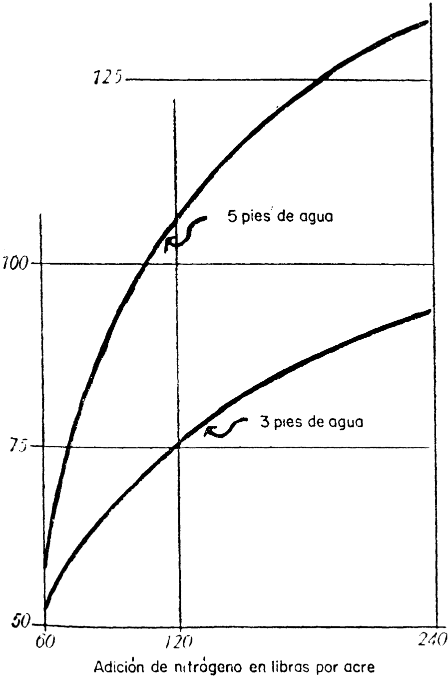
Unidad gravimétrica de absorción. (Véanse págs. 362-371.)



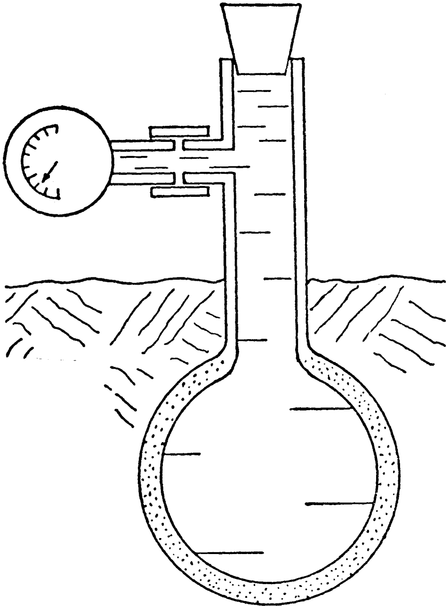
Respiradero o tubo de ventilación. Puede usarse como pozo de auxilio aumentando el tamaño del tubo vertical. (Véanse págs. 508-520.)



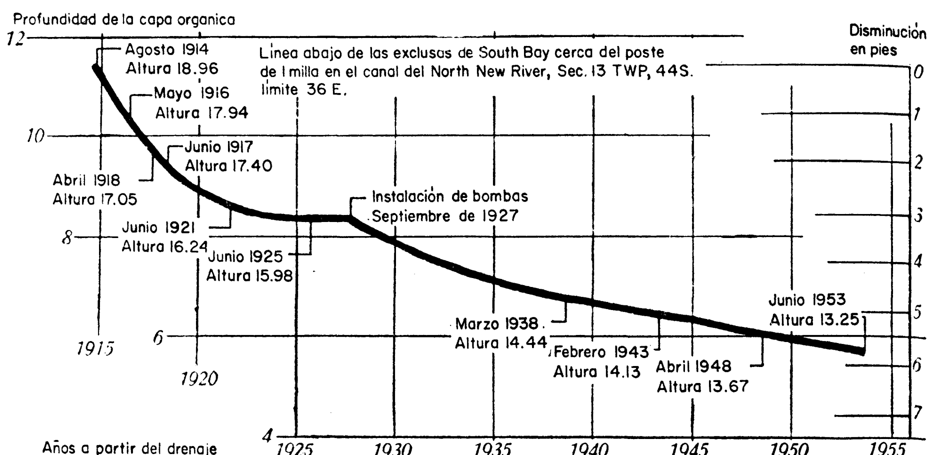
Medidor de humedad de la tierra de bloque de absorción. (Véanse págs. 362-371.)



Resultado de un experimento que muestra cómo se aumentó el valor del fertilizante adicional de nitrógeno suministrando agua adicional a las plantas. (Véase pág. 691.)



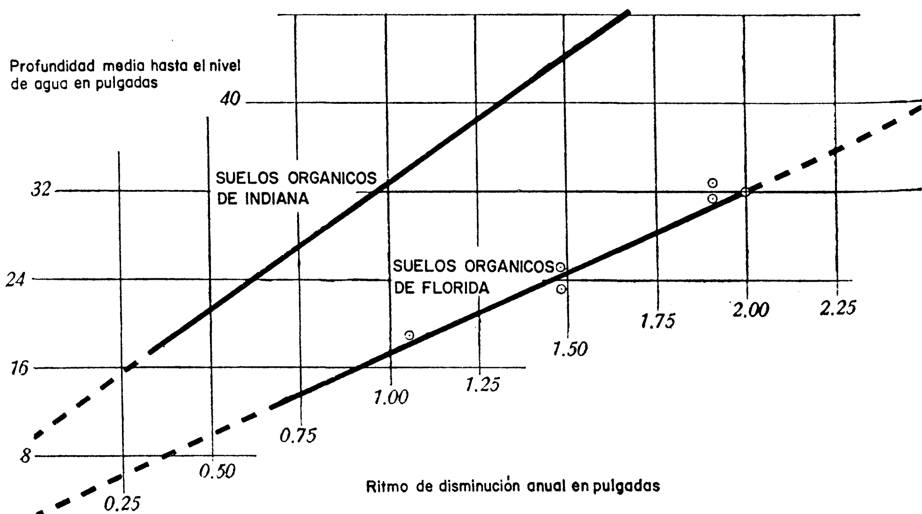
Tensiómetro de humedad de la tierra. (Véanse págs. 362-371.)



Proporción de hundimiento de una tierra orgánica desaguada durante un período de casi 40 años. Se muestran el patrón normal de hundimiento rápido de la superficie con el desagüe inicial, una nivelación a medida que decreció el desagüe por gravedad, un aumento en la proporción con mejor desagüe debido al bombeo y la constante pérdida de altura de la superficie después de ello. La tierra es de cieno de turba de Okeelanta, cerca de South Bay, Florida. (Véanse págs. 539-557.)

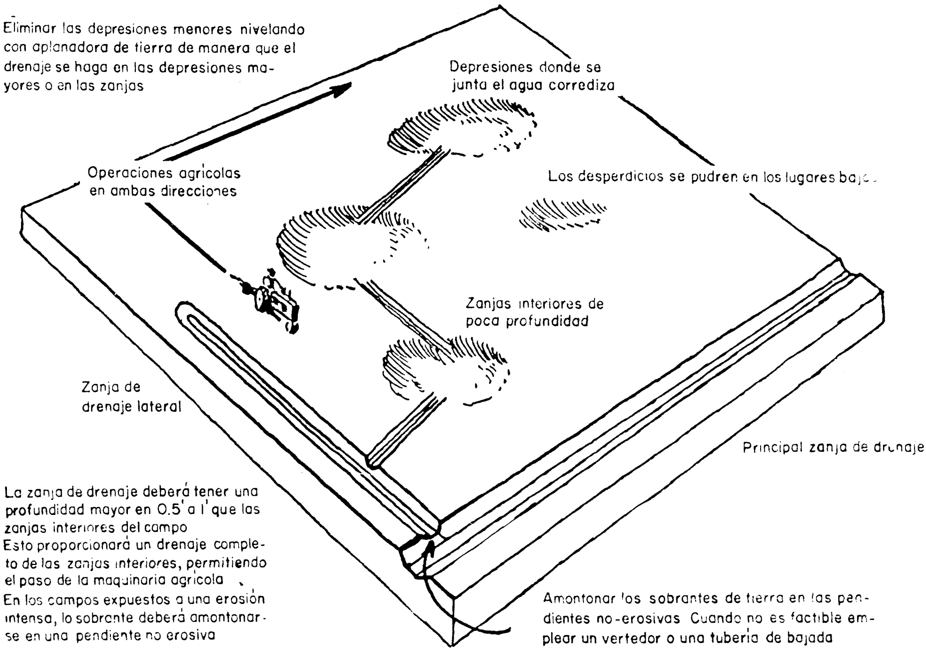
SUBSIDENCIA DE SUELOS ORGANICOS.

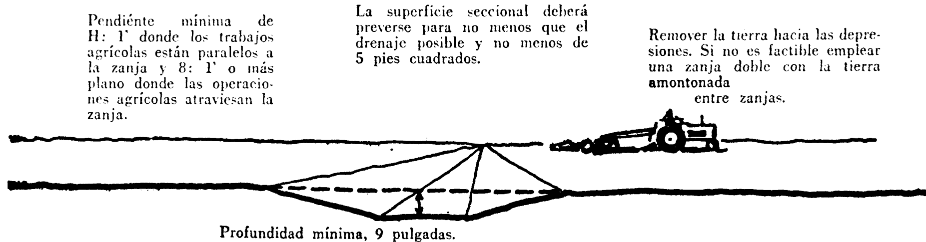
PORCENTAJES DE SUBSIDENCIAS COMPARADAS DE SUELOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DEL NORTE Y DEL SUR.



Este diagrama muestra que la proporción de hundimiento de las tierras orgánicas depende de la profundidad que hay a la meseta de agua. Mientras más baja esté la meseta de agua mayor será la pérdida de tierra. Los datos de Indiana se basan en la profundidad de desagüe solamente durante el año de cosecha de mayo a septiembre. En Florida se mantuvo la profundidad de desagüe durante todo el año. (Véanse págs. 539-557.)

SISTEMA DE ZANJAS INTERIORES PARA DRENAJE DE SUPERFICIE



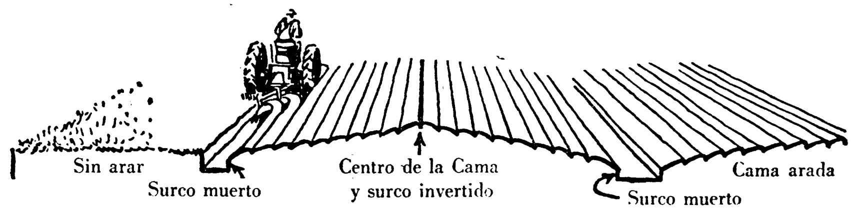


(Véanse págs. 499-507).

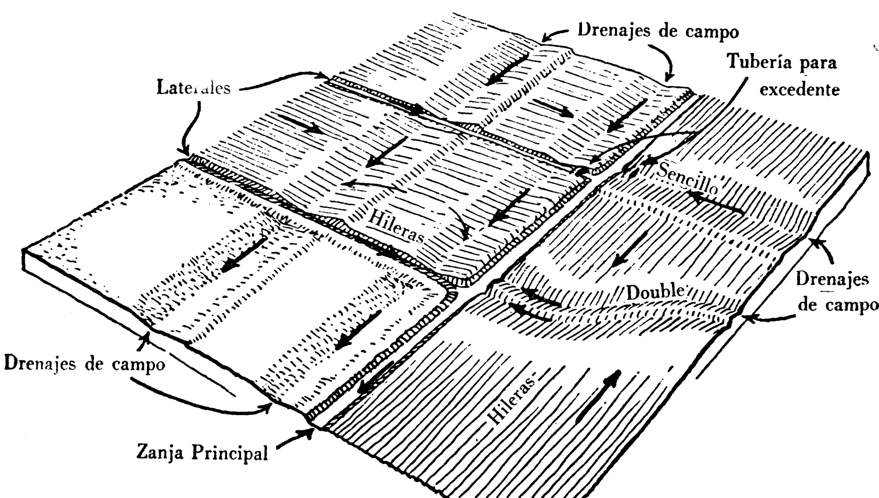
EL SISTEMA DE CAMA PARA DRENAJE SUPERFICIAL



SISTEMA DE CAMA TIPICO

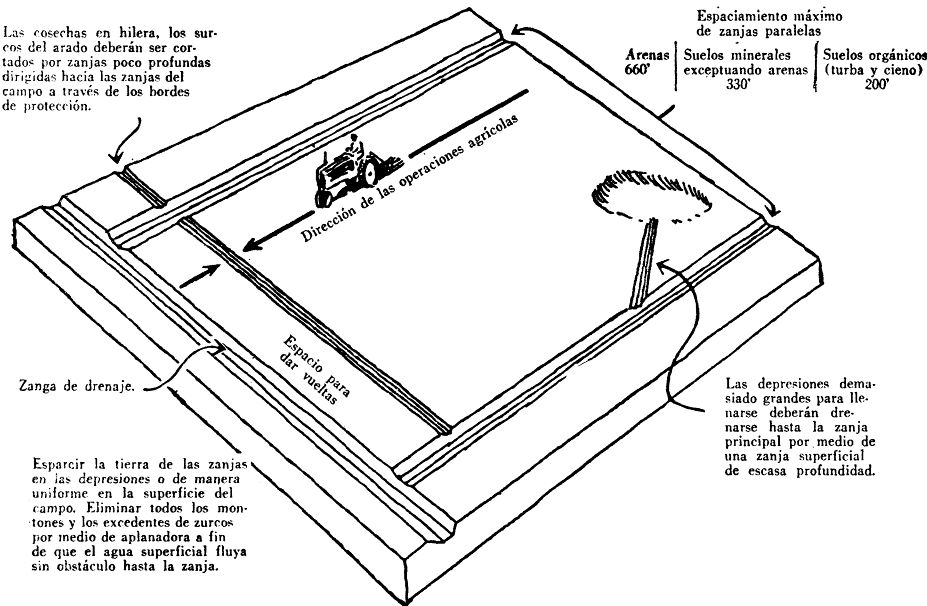


CORTE - TRANSVERSAL DE CAMA CON EL METODO DE CONSTRUCCION

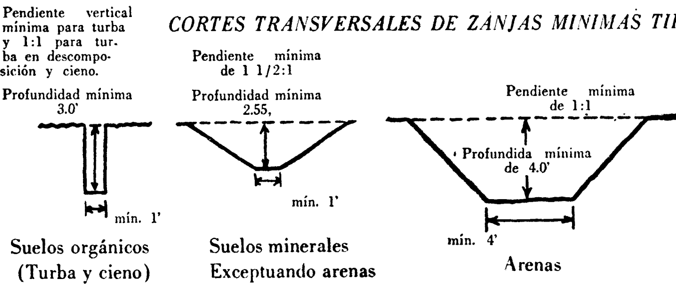


SISTEMA DE DRENAJE PARA GRANJA INDIVIDUAL

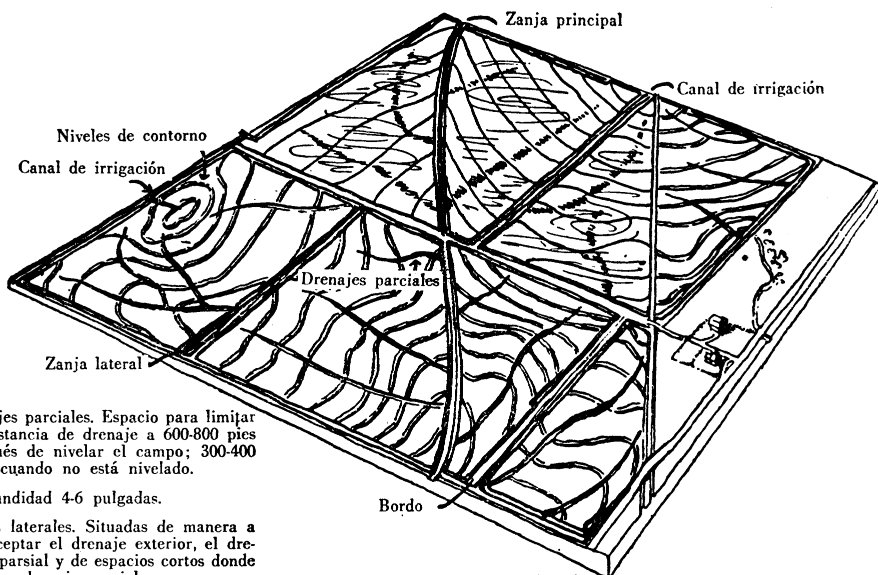
(Véanse págs. 499-507).

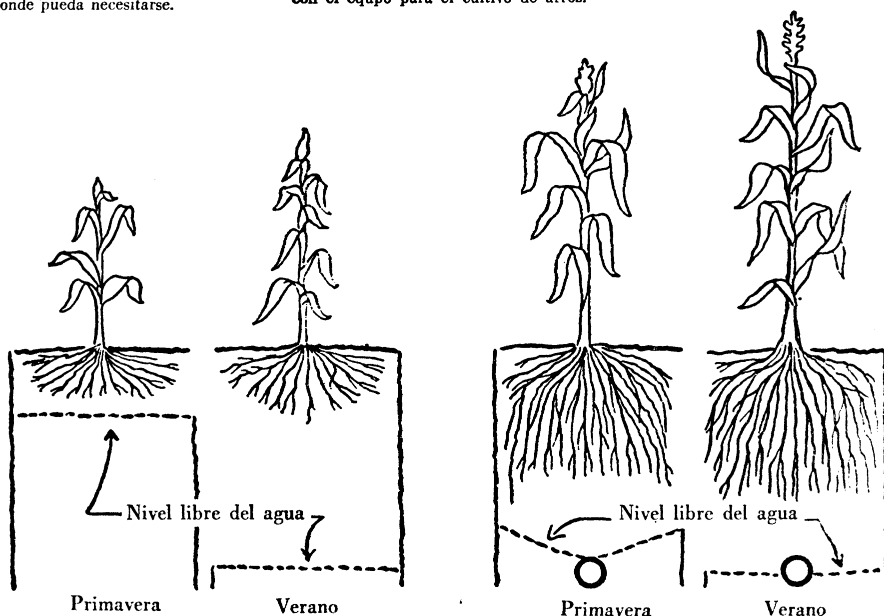


CORTES TRANSVERSALES DE ZANJAS MINIMAS TIPICAS

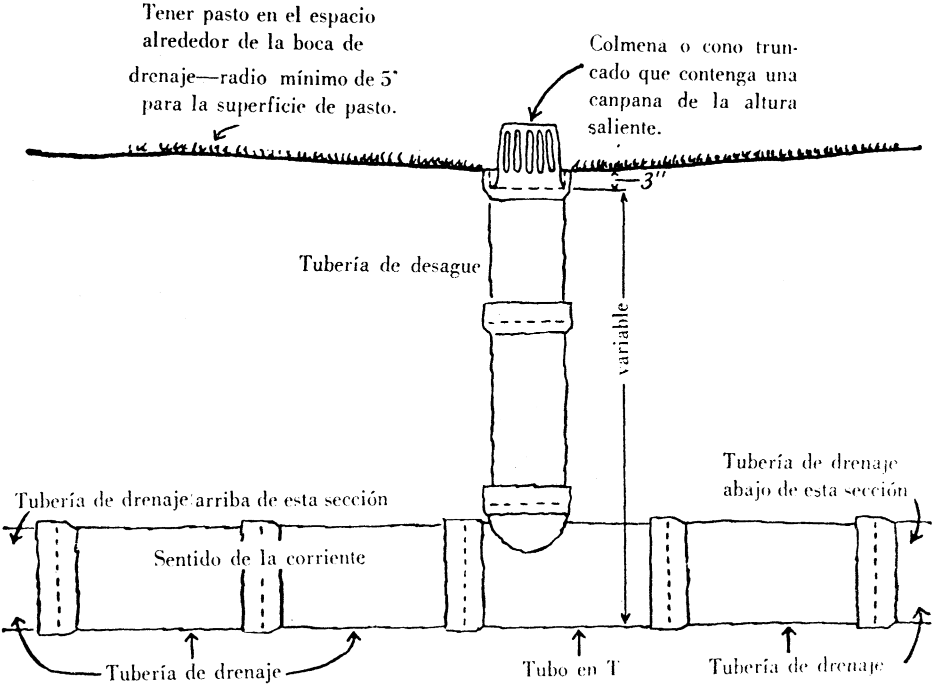


(Véanse págs. 499-507).

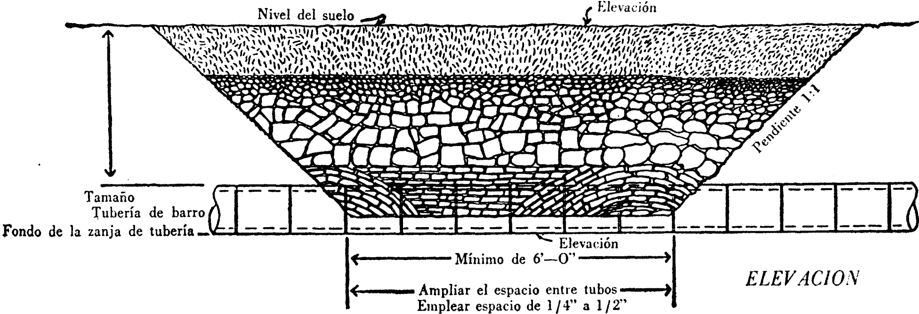


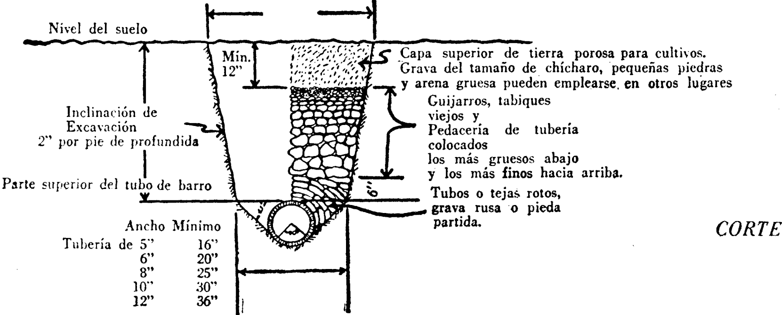


Desarrollo de las raíces de cosechas cultivadas en tierras desaguadas con tubería y en tierras sin desaguar. (Tomado de la obra de Manson y Rost titulada *Ingeniería Agrícola,* 32:6, 1951.) (Véanse págs. 491-498.)



Una pequeña entrada superficial construida con tubo de albañal para emplearse en líneas laterales de tubería. (Véanse págs. 508-520.)





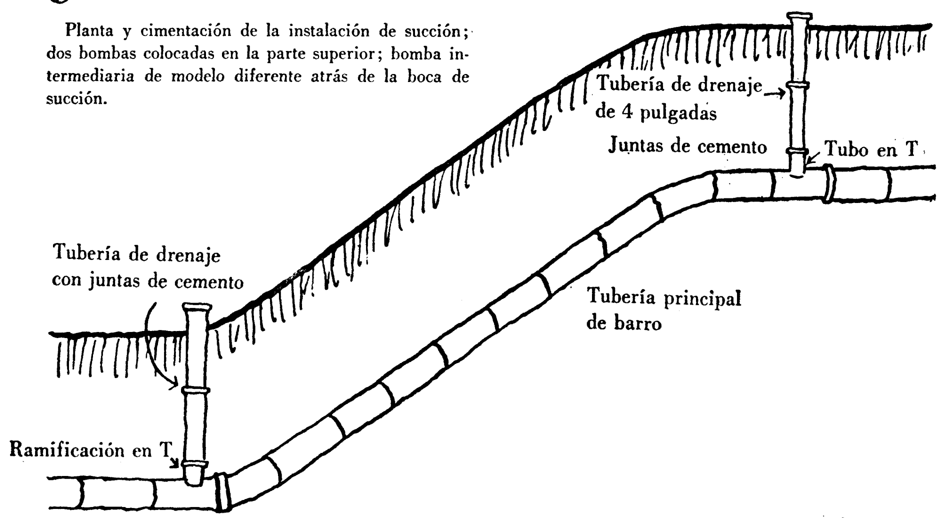
Esquema mostrando el método de construcción de las entradas superficiales ciegas. (Véanse páginas 508-520.)

Motor
Bomba
Descarga
Bomba
Motor
Entrada
Descarga
Bomba
Descarga
Motor
Pilote de acero laminado

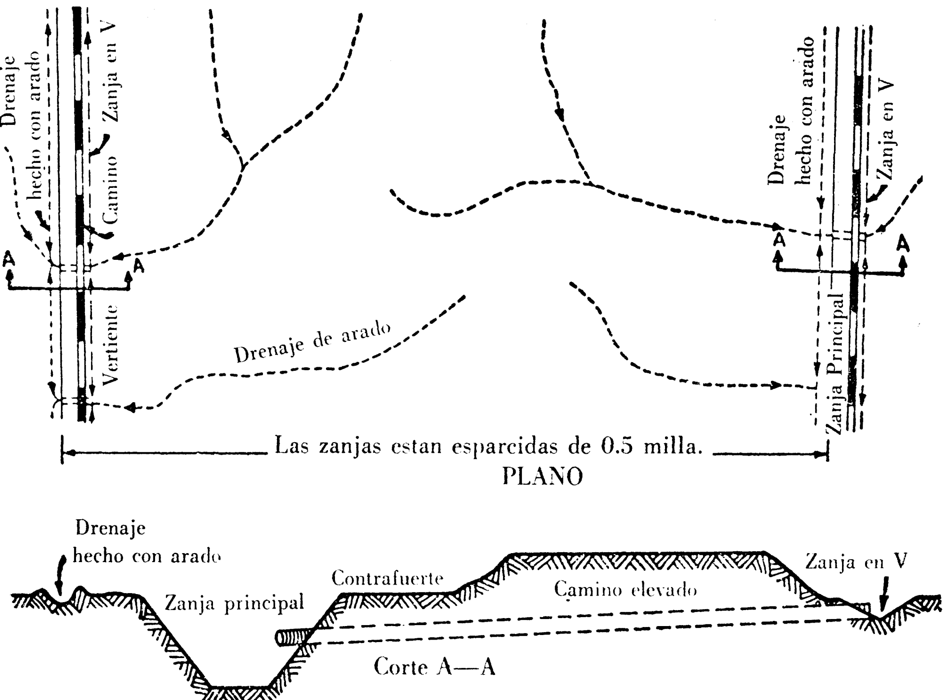
Planta y cimentación de la instalación de succión; dos bombas colocadas en la parte superior; bomba intermediaria de modelo diferente atrás de la boca de succión.

Emplear tapa fuerte de fierro o de concreto precolado
Variable
Hacia dentro
Variable
Hacia fuera
Variable pero no menor de 5'-0"
Mínimo 2'-0"
Mínimo 2'-0"
7"
Siempre proveer base de concreto
Construir paredes de concreto, de tabiques, de bloques, de segmentos curvos, de ladrillo de concreto o de desague.

Typical sediment trap. (See pages 508–520.)



Dibujo que muestra la colocación de un respiradero cerca del principio de un fuerte declive y de un pozo de alivio en el otro extremo. (Véanse págs. 508-520.)

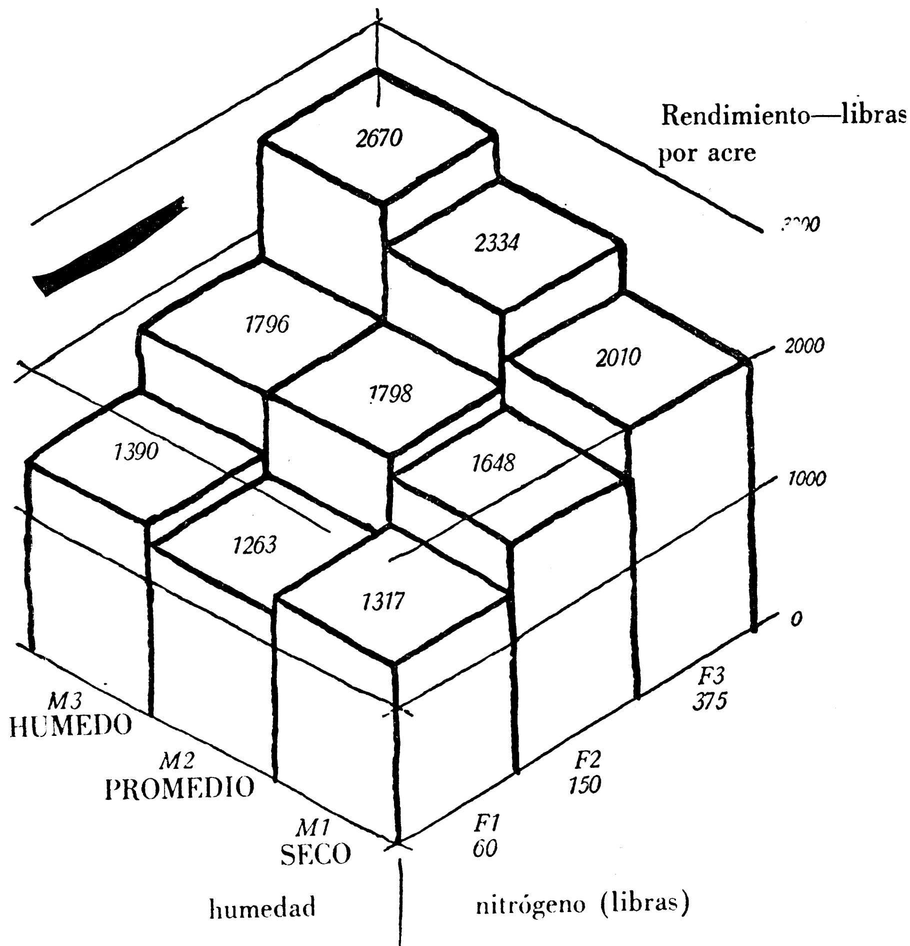


Plano y corte seccional de un sistema de desagüe en tierra boscosa muy plana y húmeda. (Véanse páginas 564-568.)

Surco	Tierras de contextura ligera, mediana y fina; cosechas de surco; pequeñas corrientes.	Declives hasta de 3% en dirección de los riegos; cosechas de surco; declive transversal de 10%.
Corrugaciones	Tierras de contextura ligera, mediana y fina; cosechas de campo sembradas muy juntas; pequeños flujos de corriente.	Declives hasta de 12% con cosechas semipermanentes; de 8% con cosechas anuales; declives transversales de 5%; difíciles para el equipo.
Bordos	Toda clase de tierras; cosechas de campo sembradas muy juntas; grandes corrientes.	Declives hasta de 3% en cosechas anuales; hasta de 8% en pasturas de tierras vegetales; se requiere buena nivelación; declives transversales de 0.3%; pendiente uniforme; es difícil iniciar las cosechas en tierras que se encharcan fácilmente.
Aspersión	Todos los declives, tierras, cosechas y tamaños de corrientes.	Elevado costo inicial del equipo; la eficiencia disminuye en los climas airosos y calientes.
Represas (o encharcamiento)	Tierras ligeras, medianas y pesadas; grandes corrientes.	Tierras profundas; elevado costo de preparación de la tierra; declives menores de 2%.
Subriegos	Libertad de movimiento lateral del agua en las tierras, rápida elevación capilar cuando hay debajo una capa de escasa permeabilidad; toda clase de cosechas; grandes cantidades de agua.	Condiciones especiales de tierras y precipitación anual, ordinariamente causan problemas de desagüe en otras partes.

Factores útiles en el planeamiento preliminar de pequeñas plantas de bombeo.

Tamaño de bomba o tubería. Pulgadas.	Galones por minuto.	Acres, pulgadas por 24 horas.	Velocidad de tubería. Pies por segundo.	Carga de velocidad $\frac{V^2}{2g}$ pies.	Fricción en pies por 1,000 pies de tubería.	Caballos de fuerza requeridos por cada 10 pies de carga total. Eficiencia de bomba y transmisión. = 70%
6	400	21.2	4.54	0.32	2.21	1.4
6	600	31.8	6.72	0.70	4.7	2.2
6	800	42.4	9.08	1.28	8.0	2.9
6	1,000	53.0	11.32	1.99	12.0	3.6
8	900	47.7	5.75	0.52	2.46	3.2
8	1,100	58.3	7.03	.77	3.51	4.0
8	1,300	68.9	8.32	1.07	4.72	4.7
8	1,500	79.5	9.60	1.43	6.27	5.4
10	1,200	63.6	4.91	.38	1.46	4.3
10	1,600	84.6	6.56	.67	2.35	5.8
10	2,000	106.1	8.10	1.02	3.65	7.2
10	2,400	127.3	9.73	1.5	5.04	8.7
12	2,000	106.1	5.60	.48	1.43	7.2
12	2,500	132.6	7.00	.77	2.28	9.0
12	3,000	159.1	8.40	1.10	3.15	10.8
12	3,500	185.6	9.80	1.49	4.10	12.6
14	2,000	106.1	4.20	.27	0.66	7.2
14	3,000	159.1	6.30	.61	1.47	10.8
14	4,000	212.1	8.40	1.09	2.47	14.4
14	5,000	265.2	10.50	1.71	3.92	18.0
16	3,600	190.9	5.74	.51	1.10	13.0
16	4,400	233.3	7.01	.76	1.58	15.9
16	5,200	275.8	8.29	1.06	2.16	18.8
16	6,000	318.2	9.56	1.42	2.60	21.6
18	4,500	238.6	5.70	.50	0.93	16.2
18	5,500	291.7	6.96	.75	1.32	19.8
18	6,500	344.7	8.22	1.05	1.82	23.4
18	8,000	424.2	10.02	1.56	2.65	28.9
20	5,000	265.2	5.13	.41	0.68	18.0
20	6,500	344.7	6.66	.69	1.06	23.4
20	8,000	424.2	8.17	1.03	1.63	28.9
20	10,000	530.3	10.40	1.68	2.53	36.1
24	8,000	424.2	5.68	.50	0.66	28.9
24	10,000	530.3	7.07	.78	0.98	36.1
24	12,000	636.4	8.50	1.12	1.40	43.3
24	14,000	742.4	9.95	1.54	1.87	50.5
30	12,000	636.4	5.44	0.46	0.47	43.3
30	16,000	848.5	7.36	.84	0.83	57.7
30	20,000	1,061.0	9.09	1.29	1.22	72.2
30	24,000	1,273.0	10.90	1.86	1.71	86.6



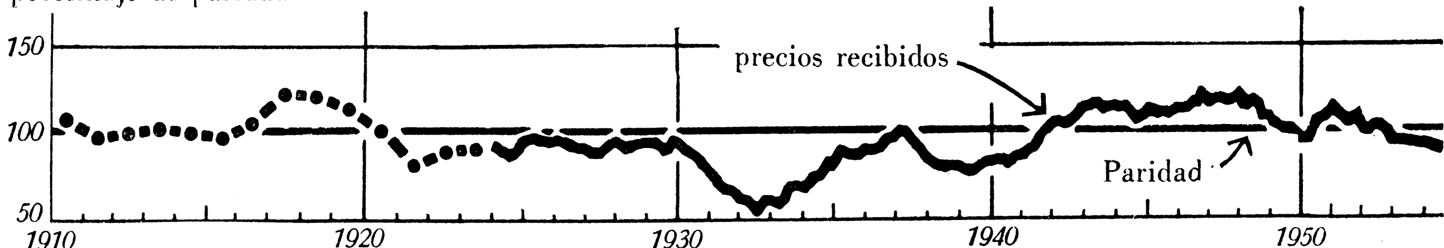
Los efectos de la humedad y del nitrógeno en los rendimientos de algodón de semilla, Yuma, Arizona, 1952. (Véanse págs. 381-388.)

Húmedo. Se regó cuando la tensión de humedad de la tierra en la zona de raíces llegó a 0.2 de atmósfera.

Medio. Se regó cuando la tensión de humedad de la tierra en la zona de raíces llegó a 0.6 de atmósfera.

Seco. Se regó cuando la tensión de humedad de la tierra en la zona de raíces llegó a 9 atmósferas.

PRECIOS PARA AGRICULTORES



*Datos mensuales **Incluye intereses, impuestos y sueldos. Datos anuales promediados, **1910-23; por trimestre, 1924-36**; por mes, 1937 a la fecha.

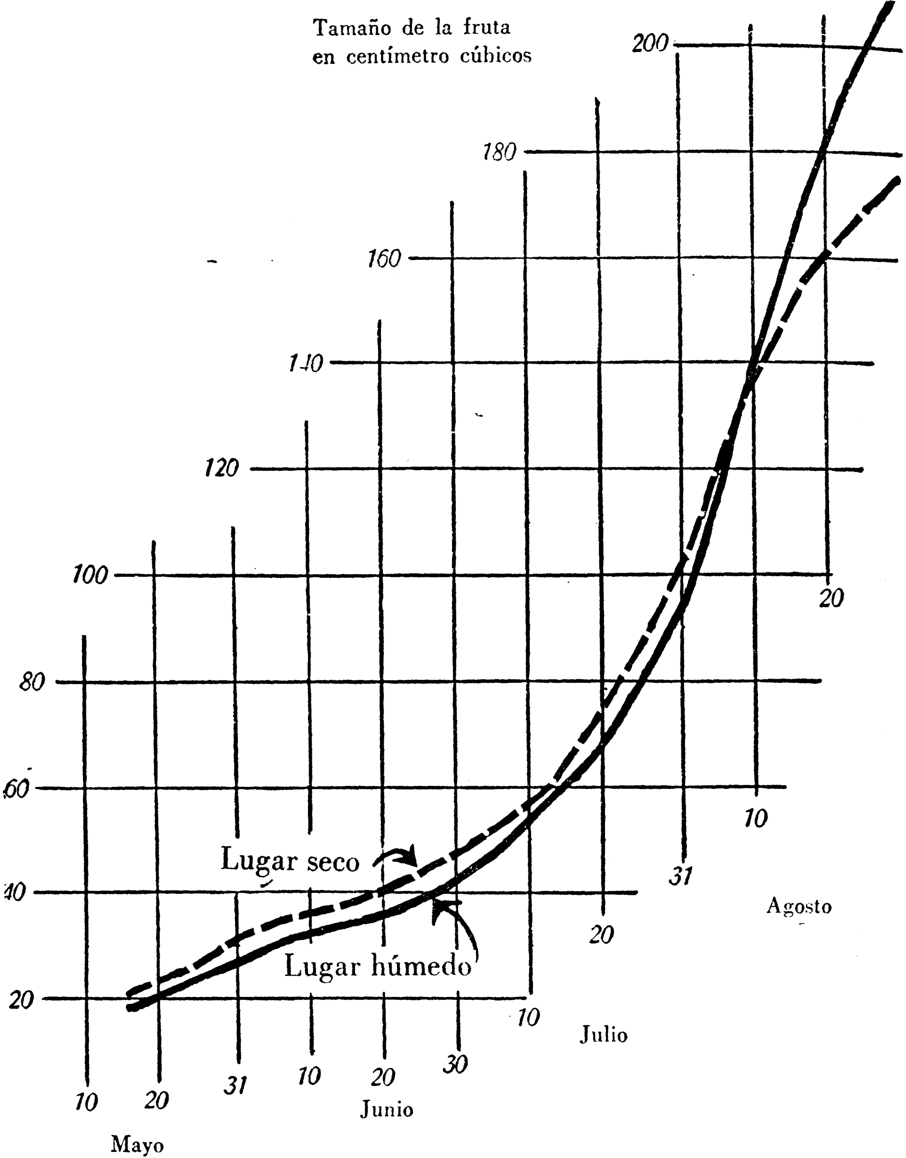
Esta tabla muestra los precios que recibieron y pagaron los agricultores durante los años de 1910-1954. Los precios recibidos por los agricultores por sus productos de granja han variado mucho más que los precios pagados por los artículos empleados en la producción de granja. En la agricultura, los precios recibidos han tenido una gama más amplia con menos cambio en la producción que en la industria. Durante ambas Guerras Mundiales e inmediatamente después de ellas, los precios de los productos de granja subieron más que los precios al mayoreo de los artículos manufacturados. La disminución en la demanda que siguió a cada guerra se reflejó en disminuciones bastante considerables en los precios de los productos agrícolas, con muy poca o ninguna disminución de la producción, pero con disminuciones considerables en las entradas de granja. Con la disminución de las entradas quedaron menos fondos disponibles para obras de mejoramiento de tierras. (Véanse págs. 479-491.)

Planes de Empresas de Grupo en los Distritos de Conservación de Tierras. Total en los Estados Unidos de Norteamérica, en el Año Fiscal de 1954. Acumulados hasta el 30 de junio de 1954.[1]

Partida	Desagües de Grupo.		Riegos de Grupo.		Otros tipos.[2]		Total.	
	1954	Acumulativo	1954	Acumulativo	1954	Acumulativo	1954	Acumulativo
Planos de obras de grupo, número	1,343	11,554	341	2,463	23	248	1,707	14,265
Granjas que se beneficiarán, número	7,023	78,127	8,490	48,365	212	2,680	15,725	129,172
Areas que se beneficiarán, acres	649,495	7,793,910	533,917	2,646,320	17,236	508,609	1,200,558	10,948,839
Costo calculado, dólares	4,203,621	40,685,603	2,059,413	13,456,105	89,313	2,473,897	6,352,347	56,615,605
Obras de grupo terminadas, núm.	1,111	9,113	304	1,899	14	181	1,429	11,193
Granjas beneficiadas, número	5,771	52,449	8,409	38,226	84	1,832	14,264	92,507
Area beneficiada, acres	469,974	4,871,275	359,231	1,847,751	5,009	277,176	834,214	6,996,202
Algunas de las principales prácticas instaladas:								
Excavación de zanjas y canales, millas	1,134	10,999	176	1,713	14	107	1,324	12,819
Idem, yardas cúbicas	10,441,200	98,957,364	795,318	5,977,296	103,752	3,533,299	11,340,270	108,467,959
Nivelación de bordos de desechos, yardas cúbicas	4,914,318	48,456,802	41,582	407,587	10,692	1,020,985	4,966,592	49,885,376
Represas y diques, millas	14	266	4	53	5	52	23	371
Idem, yardas cúbicas	197,411	3,376,754	132,677	883,642	79,945	972,780	410,033	5,433,176
Estabilización de canales, millas	10	235	2	60	1	35	13	330
Tuberías de desagüe y riego, pies lineales	901,069	3,733,064	64,012	338,872	10	3,504	965,091	4,075,440
Depósitos, número	3	9	14	142	3	19	20	170
Idem, pies-acre	498	1,044	9,506	70,828	44	593	10,048	72,465
Estructuras, número	1,062	9,565	1,011	8,002	3	157	2,076	17,724

1. Un plan de empresa de grupo se define como cualquier trabajo que incluya dos o más terratenientes u operadores que convengan en trabajar juntos para efectuar las operaciones de construcción y mantenimiento especificados en el proyecto.

2. Otros tipos incluyen controles especiales de la erosión, controles de agua, esparcimiento de agua y otras obras semejantes de empresas de grupo.



Duraznos que muestran el efecto de la falta de humedad fácilmente disponible a principios de agosto. (Véanse págs. 456-461.)

Relaciones generales existentes entre la humedad de las tierras y la sensación y aspecto de las mismas.

Humedad entre el punto de marchitamiento y la capacidad de campo	Tierras gruesas	Tierras ligeras	Tierras medianas	Tierras pesadas y muy pesadas
O	Seca, suelta, granos aislados, fluye entre los dedos.	Seca, suelta, fluye entre los dedos.	Seca, a veces con una corteza ligera que se rompe fácilmente hasta convertirse en polvo.	Dura, cocida, con hendiduras, algunas veces tiene partículas sueltas en la superficie.
50 por ciento o menos ...	De aspecto seco, no forma una esfera con la presión.	De aspecto seco, no forma una esfera.[1]	Ligeramente migajosa, se une con la presión.	Ligeramente flexible, forma esfera bajo presión.
De 50 a 75 por ciento ...	Igual a la gruesa bajo 50 por ciento o menos.	Tiende a formar una esfera bajo presión pero rara vez se conserva así.	Forma una esfera, ligeramente plástica, a veces se vuelve ligeramente resbalosa con la presión.	Forma una esfera, se aplana entre el índice y el pulgar.
75 por ciento hasta capacidad de campo	Tiende a pegarse y a veces forma una esfera muy débil bajo presión.	Forma una esfera débil que se rompe fácilmente, no se resbala.	Forma una esfera muy flexible, se resbala fácilmente si contiene mucha arcilla.	Se aplasta fácilmente entre los dedos y da una sensación viscosa.
Hasta capacidad de campo.	El contorno húmedo de la esfera se queda en la mano al aplastarla.	Igual a la tierra gruesa.	Igual a la tierra gruesa.	Igual a la tierra gruesa.
Más de la capacidad de campo	Aparece agua libre cuando se aplasta en la mano.	Sale agua al apretarla.	Puede producir agua al apretarla.	Se encharca y aparece agua libre en la superficie.

[1] La esfera se forma apretando firmemente un puñado de tierra.

(Preparada por Max Jensen y Claude H. Pair).

Desbordamiento en las áreas boscosas nacionales y privadas en ciertas cuencas de desagüe del Oeste.

Cuenca de desagüe o área	Area: Bosques nacs. %	Area: Bosques privs. %	Promedio producción anual de agua: Area Total Pulgs.	Bosques nacs.: Pulgs.	Bosques nacs.: Porcentaje, volumen total	Bosques privs.: Pulgs.	Bosques privs.: Porcentaje, volumen total
Columbia (en E. U. A.) . .	37	63	10.4	16.7	59	6.7	41
Colorado (E. U. A.)	19	81	2.5	7.2	56	1.3	44
Río Grande, arriba de El Paso	25	75	1.7	3.8	58	0.9	42
Valle Central (sólo California	32	68	11.8	23.5	63	6.4	37
Area Rogue-Umpqua	40	60	35.5	37.0	42	34.2	58
Noroeste de Washington (Estado, menos el Columbia)	32	68	39.3	51.4	41	33.7	59
Costa del sudeste de California. (Vertiente hidráulica de Los Angeles hasta la frontera de México.) . .	25	75	3.7	6.3	43	2.8	57
Platte Norte y Sur	11	89	1.7	6.2	41	1.2	59
Missouri, arriba de la Presa de Fort Randall [1]	9	91	1.7	6.9	37	1.2	63
Arkansas, arriba de Dodge City [2]	9	91	1.2	4.7	38	0.7	62

[1] La Presa de Fort Randall se encuentra en South Dakota, muy cerca del lindero con Nebraska.
[2] Dogde City, Kansas, está muy cerca del meridiano 100.

Precipitación y desbordamiento en las áreas boscosas nacionales y privadas en los Estados del Oeste.

Estado	Area: Bosques nacs. %	Area: Bosques privs. %	Promedio de precipitación anual: Total Estado. Pulgs.	Bosques Nacionales: Pulgs.	Bosques Nacionales: % vol. total	Bosques Privados: Pulgs.	Bosques Privados: % vol. total	Promedio de producción de agua: Total Estado. Pulgs.	Bosques Nacionales: Pulgs.	Bosques Nacionales: % vol. total	Bosques Privados: Pulgs.	Bosques Privados: % vol. total
Arizona	16	84	12.0	18.4	25	10.7	75	0.7	1.5	37	0.5	63
California	25	75	21	34	41	17	59	8.6	19.2	57	5.0	43
Colorado	23	77	16	20	28	15	72	4.4	11.4	61	2.2	39
Idaho	40	60	18	24	53	14	47	8	15	70	4	30
Montana	21	79	15	18	25	14	75	4.4	12.2	58	2.4	42
Nevada	8	92	8.1	9.7	9	8.0	91	0.5	1.1	16	0.5	84
New Mexico . . .	13	87	14.4	16.6	15	14.0	85	0.6	1.7	36	0.5	64
Oregon	29	71	28	39	39	24	61	14	22	44	11	56
Utah	17	83	10.8	15.7	25	9.7	75	2.0	6.5+	57	1.0	43
Washington . . .	26	74	39	59	38	32	62	18	31	45	13	55
Wyoming	15	85	14	18	19	13	81	4.1	14.7	54	2.2	46
Promedio . . .	21	79	17	26	32	15	68	5.5	14.0	53	3.3	47

Fuente de los datos: Desbordamiento anual en los Estados Unidos de Norteamérica, Walter B. Langbein y otros, Circular núm. 52 de la Inspección Geológica, 1949. Preparado en la División de Investigaciones sobre Manejo de Vertientes Hidráulicas del Servicio Forestal.

ALGUNOS EQUIVALENTES CONVENIENTES PARA LA PLANEACION Y PRUEBA DE PLANTAS DE BOMBEO

CAPACIDAD

1 barril = 136.26 litros.
1 bushel = 0.3524 hectolitros.
1 galón = 3.785 litros.

HIDRÁULICOS

1 galón (E. U. A.) de agua pesa 8.34 libras.
1 pie cúbico de agua pesa 62.4 libras a 4° C.
1 pie cúbico por segundo = 448.83 galones por minuto = 646,317 galones (E. U. A.) diarios = 0.9917 de pulgada-acre por hora (tomado ordinariamente como unidad) = 1.9835 pies-acre por día de 24 horas (tomado ordinariamente como 2).
1 millón de galones diarios = 1.5472 pies cúbicos por segundo 3.07 pies acre diarios.
1 pulgada de desbordamiento por 24 horas = 26.889 pies cúbicos por segundo por milla cuadrada = 0.0420 de pie cúbico por segundo por acre = 18.857 galones por minuto por acre.
1 pulgada por hora = 1.0083 de pie cúbico por segundo por acre (tomado ordinariamente como unidad).

LONGITUD

1 milla = 1.609 kilómetros.
1 pie = 30.48 centímetros.
1 pulgada = 25.40 milímetros.
1 yarda = 0.9144 metros.

MISCELÁNEOS

1 año = 8,760 horas.
1 pie-segundo que cae 8.81 pies = 1 caballo de fuerza.
Aceleración de la gravedad, G = 32.16 pies por segundo.
1 caballo de fuerza = 550 libras-pie por segundo = 33,000 libras-pie por minuto = 746 watts.
1 kilowatt = 1,341 caballos de fuerza.

PESO

1 libra = 453.6 gramos.
1 onza = 28.35 gramos.

Presión

1 pie de agua a 39.1° F. = 62.425 libras por pie cuadrado = 0.4335 libras por pulgada cuadrada = 0.8826 pulgadas de mercurio a 30° F.
1 atmósfera al nivel del mar = 33.90 pies de agua.
1 libra por pie cuadrado a 39.1° F. = 2.307 pies de agua.
1 pulgada de mercurio a 32° F. = 1.133 pies de agua = 0.49119 libras por pulgada cuadrada.

Superficie

1 acre = 0.4047 hectáreas.
1 pie cuadrado = 0.09290 metros cuadrados.
1 pulgada cuadrada = 6.451 centímetros cuadrados.
1 yarda cuadrada = 0.8361 metros cuadrados.

Volumen

1 Galón(E. U. A.) = 231 pulgadas cúbicas = 0.1336 de pie cúbico.
1 pie cúbico = 1,728 pulgadas cúbicas = 7.4805 galones (E. U. A.).
1 pie-acre = 325,851 galones (E. U. A. = 43,560 pies cúbicos.
1 pie cúbico = 28,320 centímetros cúbicos.
1 pulgada cúbica = 16.39 centímetros cúbicos.
1 yarda cúbica = 0.7646 metros cúbicos.

Algunas referencias adicionales

La reposición del agua del suelo mediante la dispersión (página 327)

L. E. Allison: *Effect of Micro-organisms on Permeability of Soil Under Prolonged Submergence,* Soil Science, volumen 63, páginas 439-450. 1947.

C. E. Arnold, H. E. Hedger, y A. M. Rawn: *Report upon the Reclamation of Water from Sewage and Industrial Wastes in Los Angeles County, California,* Los Angeles County Sanitation Districts, 159 páginas, 1949.

E. S. Bliss, y C. E. Johnson: *Some Factors Involved in Ground-Water Replenishment,* Transactions of the American Geophysical Union, volumen 33, páginas 547-558. 1952.

Harold Conkling: *Utilization of Ground-Water Storage in Stream System Development,* American Society of Civil Engineers Transactions, volumen III, apéndice 2272, páginas 275-305. 1946.

Finley B. Laverty: *Correlating Flood Control and Waters Supply, Los Angeles Coastal Plain,* With Discussion by A. L. Sonderegger, Warren N. Thayer, George B. Gleason y Finley B. Laverty, American Society of Civil Engineers Transactions, volumen III, apéndice 2290, páginas 1127-1157. 1946.

T. M. McCalla: *Influence of Biological Products on Soil Structure and Infiltration,* Soil Science Proceedings, volumen 7, páginas 209-214. 1942.

A. T. Mitchelson: *Spreading Water for Recharge,* Soil Conservation, volumen 15, páginas 66-70. 1949.

A. T. Mitchelson y Dean C. Muckel: *Spreading Water for Storage Underground,* U. S. Department of Agriculture Technical Bulletin 578, 80 páginas. 1937.

Dean C. Muckel: *Water Spreading for Ground-Water Replenishment,* Agricultural Engineering, volumen 29, número 2. 1948.

Dean C. Muckel: *Research in Water Spreading,* Proceeding of the American Society of Civil Engineers, volumen 77, apartado 111, 11 páginas, 1951.

Leonard Schiff: *The Effect of Surface Head on Infiltration Rates Based on the Performance o Ring Infiltrometers and Ponds,* Transactions American Geophysical Union, volumen 34, número 2, páginas 257-266. 1953.

T. Russel Simpson: *Utilization of Ground Water in California,* Proceedings of American Society of Civil Engineers, volumen 77, apartado 102, 8 páginas. 1951.

Ralph Stone y W. F. Garber: *Sewage Reclamation by Spreading Basin Infiltration.* Proceedings American Society of Civil Engineers, apartado 87, 20 páginas. 1951.

Universitv of California Sanitary Engineering Research Project: *Final Report of Field Investigation and Research on Waste Water Reclamation and Utilization in Relation to Underground Water Pollution,* State Water Pollution Control Board Publication 6, 124 páginas. 1953.

Los freatofitos, un serio problema en el Oeste (página 459)

Wayne D. Criddle y James C. Moir, *Consumptive Use of Water Studies in Idaho,* Division of Irrigation, Soil Conservation Service, U. S. Departament of Agriculture, Boise, Idaho, 1945.

A. R. Croft, *Water Loss by Stream Surface Evaporation and Transpiration by Riparian Vegetation,* Transactions American Geophysical Union, volumen 29, número 2. 1948.

J. S. Gatewood, T. W. Robinson, B. R. Colby, J. D. Hem y L. C. Halpenny, *Use of Water by Bottom-Land Vegetation in Lower Safford Valley, Arizona,* Water-Supply Paper 1103, Geological Survey, U. S. Department of the Interior, Washington, D. C., 1950.

C. H. Lee, *An Intensive Study of the Water Resources of a Part of Owens Valley, California,* Water-Supply Paper 294, Geological Survey, U. S. Department of the Interior, Washington, D. C., 1912.

Oscar E. Meinzer, *Plants as Indicators of Ground Water,* Water-Supply Paper 577, Geological Survey, U. S. Department of the Interior, Washington, D. C., 1927.

D. C. Muckel y Harry F. Blaney, *Utilization of Waters of the San Luis Rey Valley, San Diego County, California,* California Division of Irrigation of the Soil Conservation Service, 1945.

Symposium on Groundwater, Report Association of Western State Engineers, Reno, Nev., 1953.

Symposium on Phreatophytes, Transactions American Geophysical Union, volumen 33, número 1, 1952.

Arthur A. Young y Harry F. Blaney, *Use of Water by Native Vegetation,* California Division of Water Resources, Sacramento, Calif., boletín número 50, 1942.

Prácticas de riego para las cosechas de pastos y forrajes (página 466)

Robert M. Hagan y Maurice L. Petersen, *Soil Moisture Extraction by Irrigated Pasture Mixtures as Inffluenced by Clipping Frequency,* Agronomy Journal, julio 1953.

J. G. Hamilton, Grover F. Brown, Harold E. Tower y Wilkie Collins, Jr., *Irrigated Pastures for Forage Production and Soil Conservation,* USDA Farmer's Bulletin 1973.

Wesley Keller, George Q. Bateman y Elmo J. Packer, *Pasture Studies Indicate Possibilities of More Productive Grass and Legume Mixtures for Irrigated Land,* Utah Agricultural Experiment Station Farm and Home Science, diciembre 1945.

George E. McKibben, L. E. Gard, C. A. Van Doren y R. F. Fuelleman, *Soil Moisture Availability in Irrigated and Non-irrigated*

Pastures, Agronomy Journal, volumen 42, noviembre 1950.

Maurice L. Petersen y Robert M. Hagan, *Production and Quality of Irrigated Pasture Mixtures as Inffluenced by Clipping Frequency,* Agronomy Journal, volumen 45, julio 1953.

Maurice L. Petersen y Robert M. Hagan, *Irrigation Principles and Practices For Pastures,* Proceedings, Sixth International Grassland Congress, volumen I, páginas 397-403, 1952.

L. R. Richards y C. H. Wadleigh, *American Society of Agronomy Monographs,* volumen II, páginas 74-251, 1952.

R. R. Robinson, V. G. Sprague y A. G. Lueck, *The Effect of Irrigation, Nitrogen Fertilization, and Clipping Treatment on Persistence of Clover and on Total and Seasonal Distribution of Yields in a Kentucky Bluegrass Sod,* Agronomy Journal, volumen 44, mayo 1952.

R. R. Robinson y V. G. Sprague, *Responses of Orchard Grass-Ladino Clover to Irrigation and Nitrogen Fertilization,* Agronomy Journal, volumen 44, mayo 1952.

Sir E. John Russell y E. W. Russell, *Soil Conditions and Plant Growth,* Longmans, Green and Company, New York, 8ª edición, páginas 365-371, febrero 1950.

D. W. Thorne, *Management of Irrigated Pastures,* Yearbook of Agriculture 1948 (Grass), páginas 141-143.

D. W. Thorne y H. B. Petersen, *Irrigated Soils, Their Fertility and Management,* The Blakiston Company, Filadelfia, Pa., 1949.

F. J. Veihmeyer y A. H. Hendrickson, *Annual Review of Plant Physiology,* volumen I, páginas 285-304, 1950.

La invasión del agua dulce por el agua salada (página 672)

Garald G. Parker: *Salt-water Encroachment in Southern Florida:* American Water Works Association Journal, volumen 37, número 6, páginas 526-542, junio, 1945.

Garald G. Parker: *Geologic and Hydrologic Factors in the Perennial Yield of the Biscayne Aquifer, Miami, Florida:* American Water Works Association Journal, volumen 43, número 10, páginas 817-835, octubre, 1951.

Garald G. Parker, G. E. Ferguson, S. K. Love y otros: *Water Resources of Southeastern Florida, with Special Reference to the Geology and Ground Water of the Miami Area:* U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 1255.

A. M. Piper, A. A. Garret y otros: *Native and Contaminated Ground Waters in the Long Beach-Santa Ana Area, California:* U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 1136, 1953.

J. F. Poland, A. M. Piper y otros: *Geological Features in the Coastal Zone of the Long Beach-Santa Ana Area, California:* U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 1109 (en preparación).

J. F. Poland, A. A. Garrett y Allen Sinnott: *Geology, Hydrology, and Chemical Character of the Ground Water in the Torrance-Santa Monica Area, Los Angeles County, California:* U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 1254 (en preparación).

A. N. Sayre y Penn Livingston: *Ground-water Resources of the El Paso Area, Texas:* U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 919, 1945.

V. T. Stringfield: *Artesian Water in the Florida Peninsula:* U. S. Geological Survey Water-Supply Paper 773-C, 1936.

V. T. Stringfield y H. H. Cooper, Jr.: *Geologic and Hydrologic Factors Affecting Perennial Yield of Aquifers:* American Waters Works Association Journal, volumen 49, número 10, páginas 803-816, octubre, 1951.

David G. Thompson: *Ground-water Problems on the Barrier Beaches of New Jersey:* Geological Society of America Bulletin, volumen 37, páginas 463-474, 1926.

David G. Thompson: *Salt Water in Seacoast and Island Wells:* Civil Engineering, volumen 3, número 10, páginas 579-580, octubre, 1933.

S. F. Turner y M. D. Foster: *A Study of Salt-water Encroachment in the Galveston Area, Texas:* American Geophysical Union Transactions, junio, 1934.

C. K. Wenthworth: *Storage Consequences of the Ghyben-Herzberg Theory:* American Geophysical Union Transactions, páginas 683-693, 1942.

C. K. Wentwort: *The Problem of Safe Yield in Insular Ghyben-Herzberg Systems:* American Geophysical Union Transactions, volumen 32, número 5, octubre, 1951.

W. N. White, N. A. Rose y W. F. Guyton: *Ground-water Resources of the Houston District, Texas:* U. S. Geological Survey Water-Suppy Paper 889-C, 1944.

Allen G. Winslow y William W. Doyel: *Salt Water and its Relation to Fresh Ground Water in Harris County, Texas:* Texas Board of Water Engineers Bulletin 5409, 1954.

Lo que está haciendo la investigación sobre los problemas del agua en la agricultura (página 747)

L. D. Love, *Watershed Management in the Colorado Rockies,* Journal of Soil and Water Conservation, volumen 8, número 3, página 107-112, 1953.

H. P. Singleton, *Soil, Water, and Crop Management Investigations in the Columbia Basin Project,* Washington Agricultural Experiment Stations, boletín número 520, 1950.

State Water Pollution Control Board, California, *Sudies of Waste Water Reclamation and Utilization,* State Water Pollution Control Board Publication, número 9, 1954.

Lorenz G. Straub, *Research and Facilities,* St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Circular número 5, 1950.

United States Salinity Laboratory Staff, *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils,* U.S.D.A. Handbook, número 60, 1954.

INDICE

E

G

J

K

LL

M

N

O

T

V

W

X

Y

Z


NATIONAL AGRICULTURAL LIBRARY
1022219524



AGUA